



2024

Dimensionamento de lajes mistas de aço-concreto baseado na NBR 8800

Lucas Rodrigues Nascimento ^a; Christiane Areias Trindade ^b

^a Aluno de Graduação em Engenharia Civil, lucas_nascimento@ufms.br

^b Professora Orientadora, doutora, christiane.trindade@ufms.br

Faculdade de Engenharias, Arquitetura e Urbanismo e Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul. Av. Costa e Silva, s/nº | Bairro Universitário | 79070-900 | Campo Grande, MS, Brasil.

RESUMO

A laje steel deck é uma tecnologia que surgiu nos Estados Unidos na década de 1950 e tem sido amplamente utilizada desde então em todo o mundo. No Brasil, o steel deck começou a ganhar popularidade na década de 1970, principalmente devido às suas vantagens na construção civil. O steel deck consiste em painéis de aço galvanizado perfilado que são utilizados como forma para a concretagem de lajes. Essa técnica oferece diversas vantagens, como rapidez na execução, redução das escoras, facilidade de montagem e desmontagem, além de proporcionar um acabamento liso e regular à superfície da laje. Este trabalho tem por objetivo ampliar o acervo bibliográfico acerca do método construtivo Steel Deck, assim como, realizar um estudo comparativo entre lajes mistas e maciças, utilizando como parâmetro a altura da laje, peso próprio e consumo de concreto. Para tal, utilizou-se um pavimento tipo, com 81 m² e foram apresentadas as considerações de projeto para dimensionamento de lajes mistas, conforme a NBR 8800. Analisando os resultados, conclui-se que, para o pavimento tipo apresentado, não houve um sistema construtivo que predominou extremamente, visto que os resultados foram próximos. Ademais, para a escolha adequada do método construtivo ideal para determinada obra, outros fatores deverão ser levados em conta, como acesso a materiais e mão de obra, agilidade na construção, tempo disponível, entre outros.

Palavras-chave: Lajes Mistas Steel Deck. Lajes Maciças de Concreto Armado. Métodos Construtivos.

ABSTRACT

The steel deck slab is a technology that emerged in the United States in the 1950s and has been widely used throughout the world. In Brazil, steel deck began to gain popularity in the 1970s, mainly due to its advantages in civil construction. The steel deck slab consists in galvanized steel panels that are used as support for concreting slabs. This technique offers several advantages, such as speed in execution, reduction of struts, ease of assembly and disassembly, and provides a smooth and regular surface. This work aims to expand the bibliographical collection about the Steel Deck construction method, as well as to carry out a comparative study between mixed and solid slabs. It was used in this work a standard floor with 81 m². It was design for sizing mixed slab according with NBR 8800. The results says that for the standard floor used in this study, there was no constructive system that overcame the other, considering that the calculations were close. Furthermore, in order to choose the ideal construction method for a project, other considerations must be taken into account, such as access to materials and labor, agility in construction and available time.

Keywords: Mixed Steel Deck Slabs; Solid Reinforced Concrete Slabs; Constructive Method.

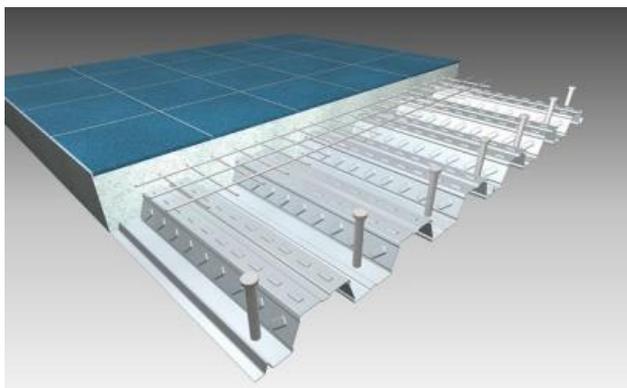
1. INTRODUÇÃO

A laje steel deck é uma tecnologia que surgiu nos Estados Unidos na década de 1950 e tem sido amplamente utilizada desde então em todo o mundo. No Brasil, o steel deck começou a ganhar popularidade na década de 1970, principalmente devido às suas vantagens na construção civil.

As lajes mistas estão relacionadas com a necessidade de métodos construtivos mais velozes, assim como, ao desenvolvimento de tecnologias de construção metálica e sistemas de laje pré-fabricada. Esse sistema se tornou popular devido à eficiência na instalação e ao desempenho estrutural.

O Steel Deck refere-se a uma laje composta por uma telha de aço galvanizado, perfilada e com nervuras, e uma camada de concreto (Figura 1). Antes da cura, essa forma permanente atua como suporte para o concreto, eliminando parcial ou totalmente os escoramentos. Quando o aço e o concreto se solidarizam, eles formam um sistema misto que atua como armadura positiva (Nakamura, 2019).

Figura 1 – Steel Deck (Light Steel Frame, 2018)



Segundo Cichinelli (2014), as lajes steel deck apresentam como vantagens: a dispensa do uso de armaduras positivas e de escoramento durante a concretagem em boa parte dos casos; redução em até 40% do custo com mão de obra e execução de até dois mil m² em aproximadamente três dias; funcionam como plataforma de trabalho; atuam como fôrma e armadura da própria laje; produto industrializado, com dimensões e características técnicas controladas. Entretanto, por ser um método recentemente implementado no Brasil, agravado pelo fato de ser um produto industrializado, isso implica em custos elevados relacionados à logística (Santos da Silva, 2019).

Nos anos 1970, o sistema Steel Deck finalmente foi introduzido no Brasil. Ainda que seu uso fosse inicialmente restrito a poucas empresas, as numerosas vantagens desse tipo de laje rapidamente o

posicionaram como um sistema de ótimo custo-benefício.

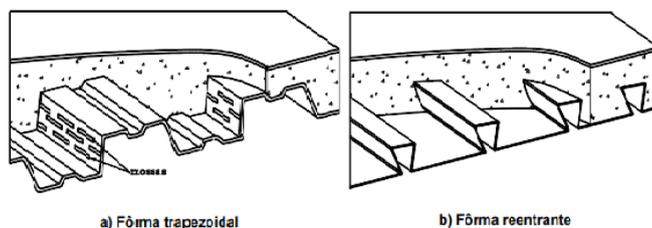
Este trabalho tem por objetivo ampliar o acervo bibliográfico acerca do método construtivo Steel Deck, assim como realizar um estudo comparativo entre lajes mistas e maciças, utilizando como parâmetro a altura da laje, peso próprio e consumo de concreto.

2. LAJE STEEL DECK

Segundo Queiroz et al (2012), as lajes mistas de aço e concreto, também chamadas de lajes com fôrma de aço incorporada, são aquelas em que a fôrma de aço é incorporada ao sistema de sustentação das cargas, funcionando, antes da cura do concreto, como suporte das ações permanentes e sobrecargas de construção e, depois da cura, como parte ou toda a armadura de tração da laje.

A fôrma de aço é composta por mossas que garantem o comportamento misto da estrutura. Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), a aderência natural entre concreto e aço não é suficiente para garantir o comportamento misto, portanto, faz-se necessário o uso de mossas ou o confinamento do concreto para garantir tal comportamento, como mostra a figura 2.

Figura 2 – Lajes mistas de aço e concreto (NBR 8800, ABNT,2008)



No Brasil, o Steel Deck é comercializado em três espessuras, 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm e o comprimento pode chegar a 12 metros, de acordo com o Centro Brasileiro da Construção em Aço (Cichinelli, 2014).

3. DIMENSIONAMENTO DE LAJES STEEL DECK

Existem algumas exigências para o dimensionamento de lajes mistas, que são normatizadas no anexo Q da NBR 8800 (ABNT, 2008).

A laje deve ser verificada considerando as duas etapas: inicial e final. Na fase inicial, antes da cura do concreto, e que, portanto, ele ainda não atingiu a resistência, e o aço suporta isoladamente todas as ações aplicadas e na fase final, quando o concreto e o aço passam a trabalhar em conjunto.

3.1 Verificação de fôrma na fase inicial

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), a análise da fôrma de aço durante a etapa inicial deve ser realizada conforme as especificações da NBR 14762 (ABNT, 2010), assegurando a consideração adequada do efeito das mossas, nas resistências de cálculo. Ademais, deve ser verificado o estado-limite de serviço, que é realizada por meio da análise do deslocamento máximo da fôrma sob seu peso próprio e o peso do concreto fresco, sendo especificado que:

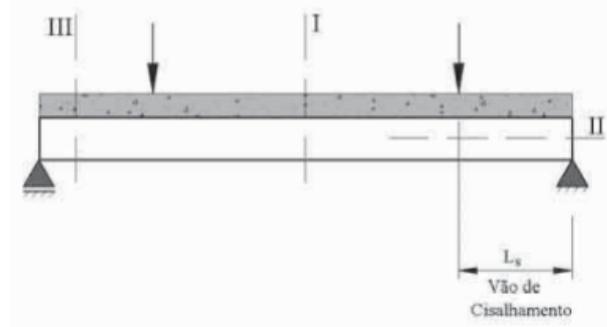
“O deslocamento máximo da fôrma não deve exceder $L_f/180$ ou 20mm, o que for menor, onde L_f é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras”. (ABNT NBR 8800, P. 222, 2008):

3.2. Verificação da laje na fase final

O dimensionamento da laje na fase final analisa a estrutura como um conjunto, onde aço e concreto trabalham juntos, para tal, o concreto deverá ter resistência à compressão maior ou igual a 75% da resistência especificada (ABNT, 2008).

A resistência de cálculo das lajes com fôrma de aço incorporada deve ser tal que resista as solicitações impostas à estrutura, assim, admitindo somente o carregamento distribuído, Queiroz et al (2012, p. 58) apresentam três seções críticas para a ruptura (Figura 3), que devem ser verificadas para estados limites distintos, como descrito a seguir:

Figura 3 – Seções críticas (Queiroz et al, 2012)



Seção crítica I – flexão: resistência ao momento fletor. Esse estado limite pressupõe a interação completa entre a fôrma e o concreto e pode ser crítico se o vão de cisalhamento for suficientemente grande.

Seção crítica II – cisalhamento longitudinal: a carga máxima da laje é determinada pela resistência ao cisalhamento longitudinal, não sendo possível atingir-se a resistência última ao momento fletor. Caracteriza-se como ação mista de interação parcial, sendo usualmente o estado limite crítico de lajes mistas.

Seção crítica III – cisalhamento vertical: esse estado limite pode ser crítico somente em casos especiais, por exemplo, lajes de maior espessura e vão pequeno e sujeitas a cargas elevadas.

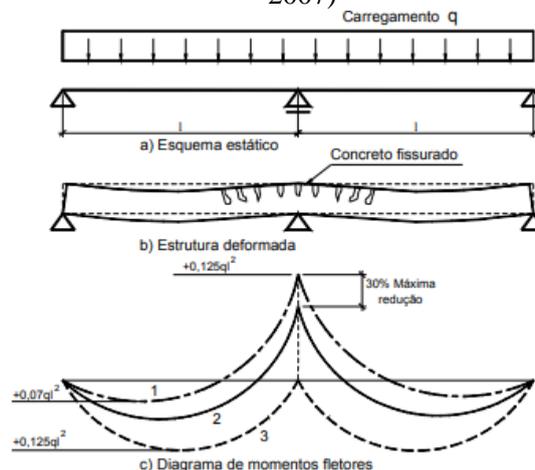
Segundo Fabrizzi (2007), no caso de lajes contínuas, existem três possibilidades para a determinação dos momentos fletores atuantes nas lajes, como ilustrado na figura 4.

I – Considerando-se inércia constante ao longo da viga, determinando-se os momentos elásticos (linha 1);

II – Considerando-se uma rigidez inferior nos apoios ou reduzindo-se arbitrariamente o momento fletor negativo nos apoios e, conseqüentemente, aumentando momento fletor positivo (linha 2);

III – Tratando a laje mista contínua como uma série de lajes mistas biapoiadas.

Figura 4 – Análise de laje contínua (FABRIZZI, 2007)



3.2.1. Verificação dos estados limites últimos

Os estados limites últimos que devem ser verificados, segunda a NBR 8800, são:

- Momento fletor;
- Cisalhamento longitudinal;
- Cisalhamento vertical;
- Punção

3.2.1.1 Momento fletor

A determinação do momento fletor positivo da laje de steel deck inicia-se com a localização da altura da linha neutra plástica LNP. Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), a fôrma de aço deve resistir aos esforços de tração em conjunto com a armadura adicional, colocada na face inferior da laje. Quando não existir a armadura adicional, a LNP deve ser calculada, segundo Queiroz et al (2012), a partir dos valores da força de compressão

no concreto N_{cf} e da força de tração na fôrma de aço N_{pa} . As equações 1 e 2 permitem o cálculo dos valores dessas forças. Caso $N_{fc} \geq N_{pa}$, a linha neutra encontra-se acima da fôrma, como mostra a figura 3. Se o contrário for verdade, a linha neutra se encontrará na fôrma de aço, como mostra a figura 4

$$N_{pa} = A_{F,ef} f_{yFd} \quad (1)$$

Onde:

N_{pa} é a força de tração na fôrma de aço, considerando interação total ao cisalhamento longitudinal;

$A_{F,ef}$ é a área de seção efetiva da fôrma, correspondente a 1000 mm, desprezando a largura das mossas na seção transversal;

f_{yFd} é a resistência de cálculo do escoamento do aço da fôrma.

$$N_{cf} = 0,85 b t_c f_{cd} \quad (2)$$

Onde:

N_{cf} é a força de compressão no concreto, considerando interação total ao cisalhamento longitudinal;

b é a largura unitária da laje, 1000 mm;

t_c é a altura da laje acima do topo da fôrma de aço;

f_{cd} é a resistência de cálculo do concreto a compressão.

- para linha neutra acima da face superior da fôrma de aço (Figura 5):

$$M_{Rd} = N_{pa} (d_f - 0,5a) \quad (3)$$

Onde:

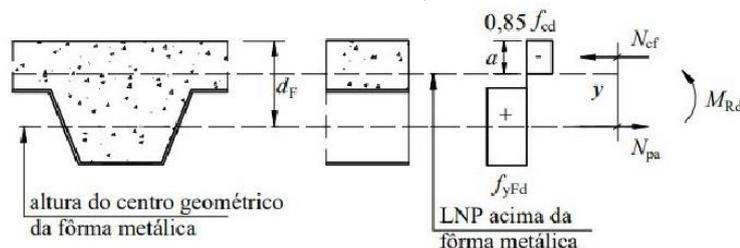
d_f - é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma.

a - altura do bloco de compressão do concreto, dada por:

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 f_{cd} b} \quad (4)$$

b - é a largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm.

Figura 5 – Linha neutra acima da fôrma de aço (NBR 8800, ABNT, 2008)



- para linha neutra abaixo na fôrma de aço (Figura 6):

$$M_{Rd} = N_{fc} * y * M_{pr} \quad (5)$$

Onde:

M_{pr} é o momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial; y é a distância entre N_{fc} e N_{pa}

De acordo com norma, as variáveis acima, necessárias para o cálculo do momento fletor, são encontradas através das fórmulas a seguir:

$$y = h_t - 0,5t_c - e_p + (e_p - e) * \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (6)$$

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} * (1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}}) \quad (7)$$

Onde:

t_c é a altura da laje do concreto acima do topo da fôrma de aço;

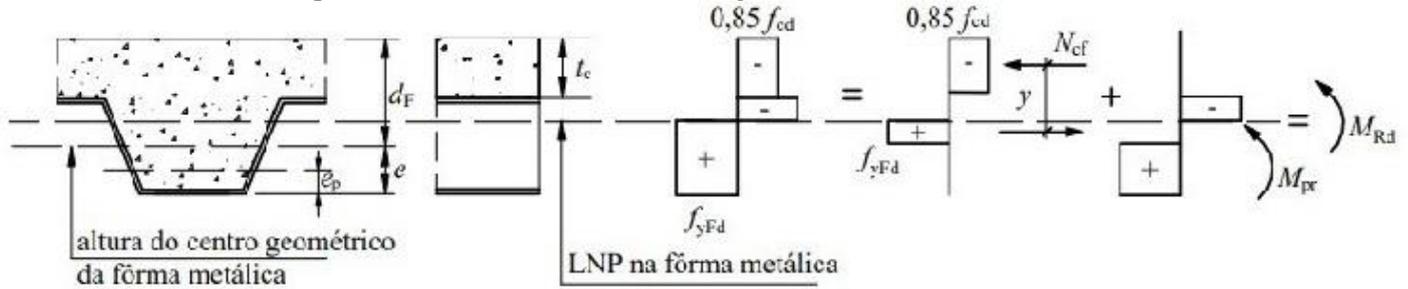
h_t é a altura total da laje;

e é a distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma a sua face inferior;

e_p é a distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma a sua face inferior.

A norma reintera que se houver armadura adicional para combater o momento fletor positivo, deve-se ajustar as equações apresentadas acima.

Figura 6 – Linha neutra na fôrma de aço (NBR 8800, 2008)



3.2.1.2. Cisalhamento longitudinal

A força cortante longitudinal, é calculada através do método semi-empírico m-k, que envolve a obtenção de dois parâmetros, o coeficiente angular (m) e o linear (k), essas constantes são obtidas por ensaios recomendados pelo Eurocode 4 – Part 1-1, conforme recomendação da própria NBR 8800 (ABNT, 2008). A NBR 8800 apresenta a equação a seguir para a obtenção do esforço cortante longitudinal resistente:

$$V_{t,Rd} = \frac{b \cdot d_f \left[\frac{m \cdot A_{F,ef}}{b \cdot L_s} \right]}{\gamma_{st}} \quad (8)$$

Onde:

d_f é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma, em mm. (Figura 7)

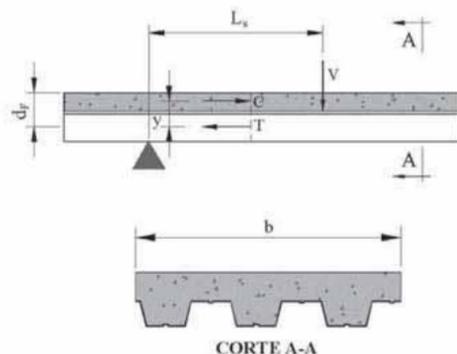
b é a largura unitária da laje, 1000mm;

L_s é o vão de cisalhamento expresso em mm;

m e k são constantes empíricas, em N/mm^2 , obtidas por meio de ensaios realizados conforme o Eurocode 4 Part 1-1, devidamente adaptadas para assegurar o nível de segurança da norma brasileira

γ_{st} é o coeficiente de ponderação de resistência; $A_{F,ef}$ é a área da seção efetiva da fôrma, correspondente a 1000mm

Figura 7 – Cortante (Queiroz, 2012)



Gomes (2001) determinou experimentalmente valores para m e k , para diferentes espessuras de fôrmas Metform, utilizando concreto leve, mas concluiu que os mesmos valores podem ser utilizados para concreto de massa específica usual. Os valores indicados pelo autor estão detalhados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de m e k (GOMES, 2011)

Espessura nominal da fôrma (mm)	m (kN/m ²)	k (kN/m.mm)
0,80	152,14	0,0016970
0,95	170,97	0,0141960
1,25	208,63	0,0391194

Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), o vão de cisalhamento deve ser tomado de acordo com o tipo de carregamento aplicado, os possíveis valores estão descritos abaixo:

a) $L_f/4$ para cargas uniformemente distribuídas, onde L_f é o vão teórico da laje na direção das nervuras.

b) a distância entre uma carga aplicada e o apoio mais próximo para duas cargas concentradas simétricas;

c) a relação entre o máximo momento e a maior reação de apoio, para outras condições de carregamento incluindo combinação de carga distribuída ou cargas concentradas assimétricas.

3.2.1.3. Cisalhamento vertical

Segundo Queiroz (2012), a determinação do esforço cortante resistente de cálculo ($V_{v,Rd}$) de lajes com fôrma incorporada pode ser realizado por meio da soma das parcelas relativas à fôrma de aço e ao concreto:

$$V_{v,Rd} + V_{v,F,Rd} + V_{v,c,Rd} \leq V_{max} \quad (9)$$

onde:

$V_{v,F,Rd}$ é a força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço, em newton, relativa a 1000mm de largura, conforme ABNT NBR 1476;

$V_{v,c,Rd}$ é a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, em newton, relativa a 1000mm de largura;

V_{max} é um limite da força cortante, em newton, relativo a 1000mm de largura.

Dessa forma, podemos encontrar a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto pelas expressões:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \cdot \tau_{Rd} \cdot k_v (1,2 + 40\rho) \cdot A_v}{b_n} \quad (10)$$

$$\tau = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (11)$$

$$k_v = \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \geq 1,0 \quad (12)$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 f_{ctd} \quad (13)$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta \cdot f_{ctk,inf}}{1,4} \quad (14)$$

Onde:

A_v é a área resistente do concreto, expressa em milímetros quadrados (mm²), mostrada na Figura 8;

A_s é a área da armadura longitudinal de tração, referente à área A_v , expressa em milímetros quadrados (mm²);

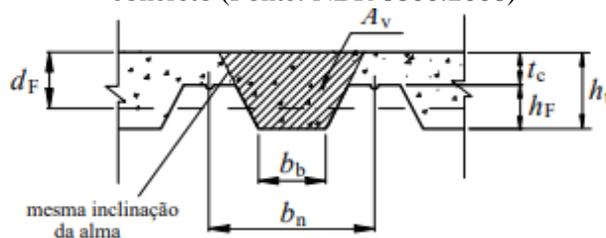
d é a distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração, expressa em milímetros (mm);

b_n é a largura entre duas nervuras consecutivas, expressa em milímetros (mm);

η é igual a $3,0 + 0,7 (\rho_c/2400)$, sendo ρ_c a massa específica do concreto, em quilogramas por metro cúbico;

$f_{ctk,inf}$ é a resistência à tração direta característica inferior do concreto, segundo a NBR 6118, expresso em megapascal (Mpa);

Figura 8 – Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto (Fonte: NBR 8800:2008)



A_s é a área da armadura longitudinal de tração, referente à área A_v ;

d é a distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração;

b_n é a largura entre duas nervuras consecutivas; $\ell_{b,nec}$ é o comprimento de ancoragem necessário;

O limite da força cortante, é dado por:

$$V_{max} = \frac{1000 \cdot 0,285 \cdot f_{ck}^{\frac{1}{2}} \cdot A_v}{b_n} \quad (15)$$

3.2.1.4. Punção

A punção é um fenômeno de ruína que geralmente ocorre em lajes com espessura reduzida e quando submetidas a cargas concentradas em áreas pequenas. Nesse tipo de falha, observa-se o deslocamento vertical da laje ao longo de uma superfície troncônica, onde as linhas que a compõem possuem uma inclinação de aproximadamente 45° em relação ao plano médio da laje (LIMA, 2009).

A determinação da força cortante resistente de cálculo à punção provocada por uma carga concentrada pode ser feita através da expressão (ABNT NBR 8800:2008):

$$V_{p,Rd} = u_{cr} \cdot d_1 \cdot \tau_{Rd} \quad (16)$$

Com:

$$d_1 = \frac{d_f + t_c}{2}$$

$$\tau_{Rd} = 0,13 k_p (100 \rho f_{ck})^{1/3} \geq 0,30 f_{ctd}$$

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1}} \leq 2,0$$

$$\rho = \sqrt{\rho_F \rho_S} \leq 0,02$$

Onde:

u_{cr} é o perímetro crítico, expresso em milímetros;

d_f é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

ρ_F e ρ_S são as taxas de armadura nas direções longitudinal e transversal à fôrma, dadas por:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{Sl}}{d_f(b_p + 2h_r + 3d_f)}$$

$$\rho_S = \frac{A_{St}}{t_c(b_1 + 2h_r + 3d_f)}$$

A_F é a área da seção da fôrma de aço, referente à largura $(b_1 + 2h_r + 3d_f)$;

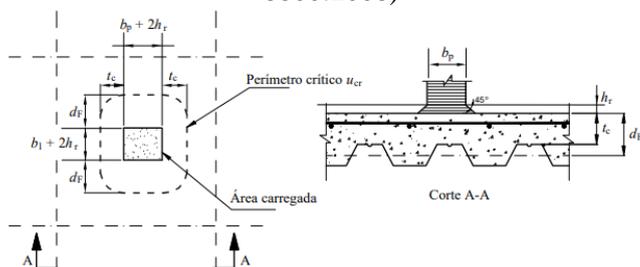
A_{Sl} é a área da armadura longitudinal, referente à largura $(b_1 + 2h_r + 3d_f)$;

A_{St} é a área da armadura transversal, referente à largura $(b_1 + 2h_r + 3d_f)$;

b_1 e b_p conforme figura 7;

h_r é a altura do revestimento da laje, se houver.

Figura 9 – Perímetro crítico para punção (Fonte: NBR 8800:2008)



3.2.2. Estado limite de serviço (ELS)

3.2.2.1. Fissuração do concreto

O estado limite de fissuração do concreto deve ser verificado em regiões de momento negativo de lajes contínuas de acordo com a ABNT NBR 6118 (ABNT, 2023), para lajes simplesmente apoiadas, deve-se adotar armaduras complementares para combater os efeitos de retração e temperatura (ABNT NBR 8800:2008).

Neste estudo, serão utilizadas as tabelas do fabricante METFORM (2019), apresentadas no Apêndice A, para dimensionar as lajes mistas. Dessa forma, o manual técnico fornecido aponta a composição de armadura ideal para as variações de altura da laje, assim como, o consumo de concreto e o peso total da ferragem.

3.2.2.2. Deslocamento vertical

O deslocamento vertical em lajes mistas é entendido como o movimento vertical entre o concreto e o aço.

Esse fenômeno pode ocorrer devido a cargas aplicadas, falhas de adesão, variações térmicas, entre outros. Segundo a NBR 8800 (ABNT, 2008), o deslocamento máximo permitido é $L_f/350$, considerando apenas o efeito das ações variáveis, onde L_f é o vão teórico da laje na direção das nervuras.

3.3. Ações a serem consideradas

3.3.1. Fase inicial

O termo ações refere-se às forças, carregamentos ou efeitos que atuam sobre a estrutura, podem ser classificados em permanentes, variáveis e excepcionais. Na fase inicial, quando somente a fôrma de aço resiste aos carregamentos, as ações que devem ser consideradas, segundo a NBR 8800 são:

- a) Peso próprio do concreto fresco, da fôrma de aço e da armadura;
- b) Sobrecarga de construção;
- c) Efeito de empoçamento, caso o deslocamento no centro do vão da fôrma ultrapasse $L_f/250$, o efeito do empoçamento deve ser levado em conta, considerando um aumento na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.

Para a sobrecarga característica de construção, a Norma recomenda a utilização do valor mais nocivo entre:

- a) Carga uniformemente distribuída, com no mínimo 1 kN/m^2 ;
- b) Carga linear de $2,2 \text{ kN/m}$ perpendicular à direção das nervuras da fôrma, na posição mais desfavorável, somente para verificação do momento fletor.

3.3.2 Fase final

Na fase final, quando fôrma de aço e concreto trabalham como conjunto, deve-se considerar que todo o carregamento é sustentado por esse conjunto (ABNT NBR 8800:2008, p. 219).

4. METODOLOGIA

Inicialmente foi realizada revisão bibliográfica acerca

das especificações das normas para dimensionamento de lajes steel deck.

A seguir, para a comparação entre a laje steel deck e a laje maciça foi definido como objeto de estudo um pavimento tipo, com 81 m² obtido de Chust (2015), detalhado para cada caso nos itens 4.1 e 4.2

4.1. Laje mista

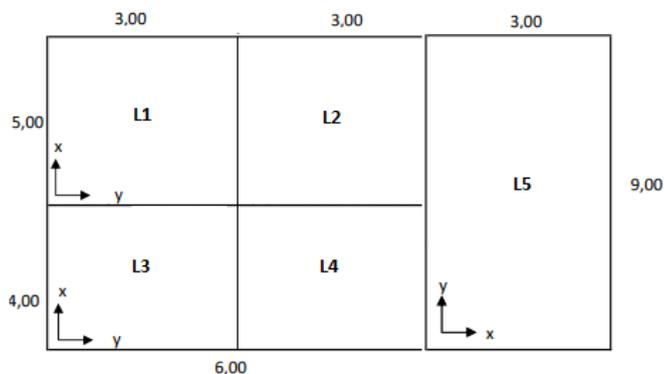
O dimensionamento das lajes mistas Steel Deck será baseada no catálogo do fornecedor METFORM SA que está em conformidade com as exigências evidenciadas acima e constantes na NBR 8800 (ABNT, 2008). A escolha da altura da laje e da espessura da telha levam em conta a carga sobreposta total da laje e o comprimento dos vãos, de tal forma, que não exceda o vão limite especificado pelo fabricante, evitando, assim, a utilização de escoras.

A laje tipo a ser dimensionada está apresentada na Figura 10, com uma pequena modificação em relação a planta baixa que será dimensionada para lajes maciças, visto que foi necessária a divisão das lajes 1 e 2, pois essas excediam o vão máximo admissível sem escoramento constante no manual técnico de dimensionamento da METFORM.

Ademais, as lajes L1 e L2 foram consideradas como contínuas, assim como L3 e L4. A laje L5 foi considerada como biapoiada.

Visto isso, temos como carga sobreposta 8,70 kN/m², pois foi o valor máximo encontrado no dimensionamento da laje maciça de concreto, conforme apêndice B.

Figura 10 – Laje tipo (Fonte: Chust adaptado pelo autor)



4.2. Laje maciça

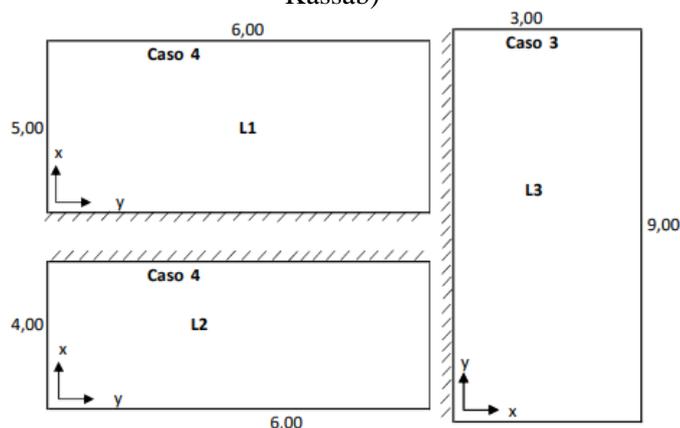
O dimensionamento da laje maciça, apresentada na figura 11, foi baseada na NBR 6118 (ABNT, 2023). Os itens e o passo a passo do dimensionamento não foram apresentados detalhadamente, pois o dimensionamento

de lajes maciças não é o enfoque deste trabalho, visto isso, os principais itens e as tabelas utilizadas no dimensionamento foram elencados no apêndice B.

Para a determinação da espessura adequada da laje, faz-se considerações levando em conta os carregamentos e garantindo que a deformação da estrutura esteja dentro dos limites aceitáveis. Assim, arbitra-se uma espessura inicial entre 7 e 14 cm, de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2023) e são determinados os carregamentos atuantes.

Posteriormente verifica-se se a deformação é avaliada para o estado limite de serviço e se a flecha de longa duração está dentro dos parâmetros estabelecidos, caso essa flecha ultrapasse o valor admissível, a interação é realizada novamente com outra altura de laje, e esse processo se repete até a altura da laje convergir.

Figura 11 – Laje tipo (Fonte: Chust adaptado por Kassab)



Dessa forma, as ações ou carregamentos que foram considerados no dimensionamento da laje maciça, foram:

I – Cargas permanentes:

- Peso próprio - em função da espessura da laje
- Contrapiso – 0,95 kN/m²
- Piso – 0,25 kN/m²
- Revestimento – 0,57 kN/m²
- Paredes – 2,475 kN/m²

II – Cargas acidentais:

- Sala para escritórios (NBR 6120, ABNT, 2019) – 2 kN/m².

5. RESULTADOS

Ao término do dimensionamento, os resultados devem abranger os seguintes elementos:

- I - Altura da laje;

II - Peso próprio;

III - Consumo de concreto.

Estes resultados, apresentados a seguir, são fundamentais para assegurar que o projeto da laje atenda aos padrões de desempenho, segurança e durabilidade estipulados pelas normas, assim como, possibilite fazer um comparação técnica entre os métodos construtivos.

O dimensionamento da laje mista teve por objetivo atender as especificações de projeto, atentando para a carga sobreposta máxima e o vão máximo sem escoramento.

Utilizando a tabela 2, constante no apêndice A, e tendo em vista que, para todas as lajes, o vão crítico a ser vencido é de 3 metros e a carga sobreposta máxima é de 8,70 kN/m², podemos excluir a possibilidade de utilização da telha MF-50, com 50mm de altura, por não suportar a carga sobreposta aplicada, de acordo com as tabelas apresentadas pelo fabricante.

Continuando as verificações, de acordo com a coluna de cargas sobrepostas máximas, para um vão de 3 metros, a laje MF-75 com 1,25 mm de espessura, foi a mais econômica adotada, suportando 9,13 kN/m² de carga, 3,4 m de vão sem escoramento para lajes biapoiadas (L5) e 4 m para lajes com vão duplo (L1-L2, L3-L4).

Portanto, foi adotada para o caso de estudo a laje MF-75 ZAR 280 ASTM A633 com tensão de escoamento $f_y = 280\text{MPa}$ e 75 mm de cobrimento, espessura de 1,25 mm, resultando em uma laje com altura total de 150 mm.

A armadura de retração mais econômica sugerida pela tabela foi a tela soldada nervurada Q 113, porém adotou-se a tela Q-138, com maior área de aço, para colaborar com a capacidade resistente da laje de suportar os momentos fletores negativos.

Portanto, após o dimensionamento iterativo ser realizado e as verificações exigidas pela METFORM serem atendidas, chegamos a seguinte configuração adotada:

I - Resistência do concreto – 20 MPa;

II – Fôrma MF-75, com 75 mm de altura;

III – Armadura complementar de retração/momento negativo – Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100

O quadro 1 apresenta o resumo final para a laje mista.

Quadro 1 – Resumo do dimensionamento da laje mista

Altura da laje	15 cm
Peso Próprio	2,79 kN/m ²
Consumo de concreto	9,1125 m ³

A laje maciça foi dimensionada conforme apresentado no item 4. O quadro 2 apresenta o resumo final para a laje maciça.

Quadro 2 – Resumo do dimensionamento da laje maciça

Altura da laje	11 cm
Peso Próprio	2,75 kN/m ²
Consumo de concreto	8,91 m ³

Após analisados os resultados dos quadros 1 e 2, conclui-se que o método construtivo de lajes maciças de concreto armado teve um consumo de concreto em torno de 2% inferior, se comparado ao sistema construtivo steel deck, além disso, o peso próprio e a altura da laje também apresentaram valores inferiores.

Analisando os dois tipos de laje estudados, percebe-se que a laje mista requereu uma altura maior de laje para absorver os esforços aplicados, como também gerou um maior consumo de concreto. Todavia, o sistema steel deck leva grande vantagem no quesito tempo, visto que não se faz necessário o uso de escoras, acelerando o período de montagem da estrutura.

Assim, do ponto de vista de consumo de material, a laje maciça leva vantagem, em contrapartida, do ponto de vista tempo, o steel deck sobressai.

Ademais, os resultados apresentados não são extremamente contrastantes, devido ao pavimento tipo apresentado ser pequeno. Portanto, para maiores conclusões, faz-se necessário o estudo de um pavimento tipo com maiores dimensões.

6. CONCLUSÃO

O método construtivo de lajes maciças de concreto armado teve um consumo de concreto, peso próprio e altura da laje inferiores quando comparados ao sistema construtivo steel deck. Ademais, os resultados apresentados não são extremamente contrastantes, devido ao pavimento tipo apresentado ser pequeno.

Levando este ponto em consideração, a escolha entre

laje maciça e laje steel deck dependerá das necessidades específicas do projeto, considerando critérios como carga estrutural, velocidade de construção, custo e requisitos de desempenho.

Em vista dos argumentos apresentados, afirma-se que o objetivo inicial do trabalho foi alcançado, realizando um referencial bibliográfico sobre o dimensionamento de lajes mistas e apresentando os itens essenciais para tal dimensionamento.

Em contrapartida, não foi possível afirmar qual laje se sobressaiu, visto que, como citado acima, cada processo construtivo tem suas exigências e peculiaridades, por exemplo, uma obra que tenha curto prazo para entrega utilizará a laje mista em detrimento da maciça. Todavia, caso a mesma obra não tenha problemas com o prazo, mas sim com a obtenção de mão de obra especializada, o uso de laje maciça torna-se mais viável.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6120**: ações para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, RJ, 2008.

BONINI, S.N , **Lajes mistas Steel Deck: Estudo comparativo com lajes maciças de concreto armado** . 2013. 118f. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013.

CICHINELLI, G. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Lajes em steel deck**, 2014. Disponível em: <<https://www.cbca-acobrasil.org.br/site/noticia/lajes-em-steel-deck>>.

CHUST, Roberto Carvalho; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118:2015. 4. ed., 2. reimp.. Sao Carlos:

edUFSCAR.

FABRIZZI, M. A. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto**. 2007. 233 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

FINOTTI, Rafael. **Análise comparativa entre lajes steel deck e lajes maciças**. . Trabalho de conclusão de curso – Universidade São Francisco.

GOMES, L.C. **Estudo do sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada empregando concreto estrutural leve**. Dissertação (Mestre em engenharia de estruturas). Escola de engenharia. Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2001

KASSAB, Munir. **Notas de aula**. Estruturas de Concreto I. Universidade Federal de Meto Grosso do Sul, 2014.

LIGHT STEEL FRAME. **Saiba mais sobre o Sistema Steel Deck**. Manual do Sistema Light Steel Frame. 2018. Disponível em: . Acesso em 20 out. 2018.

LIMA, M.P.S. **Tecnologia bubbledeck: uma abordagem de sua execução e aplicabilidade quando comparada a laje steel deck**. Projeto de graduação. Escola Politécnica. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro-RJ, 2017.

METFORM SA. **Steel Deck Metform. Manual Técnico: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem**. Betim, 2019.

NAKAMURA, J. Centro Brasileiro da Construção em Aço. **Dimensionamento de vãos é ponto crítico em projeto de lajes steel deck**, 2019. Disponível em:<<https://www.aecweb.com.br/revista/materias/dimensionamento-de-vaos-e-ponto-critico-em-projeto-de-lajes-steel-deck/18861>>.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R. J.; MARTINS, A. G. **Estruturas mistas**. Volumes 1 e 2. 2. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2012.

SANTOS DA SILVA, J., MENDES DA SILVA, C., RODRIGUES LISBOA, F., ALCIDES NUNES, N. G., RÊGO ARRUDA, M. A., & DUARTE CAVALCANTE, J. R. (2019). **Caracterização dos sistemas compostos por estruturas mistas e seu uso**

no âmbito da construção civil. *Caderno De*
Graduação - Ciências Exatas E Tecnológicas - UNIT –
ALAGOAS.

SOUZA, LUCAS FELIPE DE / MELO, MARCELO
HENRIQUE DE. **Estudo do uso de lajes mistas Steel**
Deck. (ENC/UNI, Bacharel, Engenharia Civil, 2017).

APÊNDICE A - TABELAS METFORM

Laje de	Altura da Laje (mm)	Espessura Telha-fôrma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ² /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)															
			Simplex (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
Ferro	130	0,80	2,350	3,200	3,300	1,150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
		0,95	3,000	3,850	3,750	1,350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
		1,25	3,650	4,300	4,400	1,650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
	140	0,80	2,200	3,100	3,200	1,150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
		0,95	2,850	3,500	3,600	1,350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
		1,25	3,500	4,150	4,250	1,600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,78	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81
	150	0,80	2,000	3,000	3,100	1,100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
		0,95	2,650	3,400	3,500	1,300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
		1,25	3,400	4,000	4,100	1,550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,62	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
160	0,80	1,850	2,900	3,000	1,100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73	
	0,95	2,500	3,300	3,400	1,250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68	
	1,25	3,250	3,900	4,000	1,500	3,02	22,90	20,00	20,00	20,00	18,42	16,76	15,28	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,58	
170	0,80	1,700	2,800	2,900	1,050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88	
	0,95	2,350	3,200	3,300	1,250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91	
	1,25	3,150	3,800	3,900	1,450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	
180	0,80	1,550	2,750	2,850	1,050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03	
	0,95	2,200	3,100	3,200	1,200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14	
	1,25	3,050	3,700	3,800	1,450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	18,40	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35		
190	0,80	1,450	2,650	2,750	1,000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18	
	0,95	2,100	3,050	3,150	1,200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36	
	1,25	3,000	3,600	3,700	1,400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	
200	0,80	1,400	2,600	2,650	1,000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33	
	0,95	1,950	2,950	3,050	1,150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59	
	1,25	2,900	3,500	3,650	1,400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39	6,12	

Tabela 2 - Cargas e vão máximos - MF 75 (METFORM, 2019)

Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m ²)
130	0,0925	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
140	0,1025	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
150	0,1125	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
160	0,1225	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
170	0,1325	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
180	0,1425	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
190	0,1525	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20
200	0,1625	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20

Tabela 3 - Consumo de concreto - Armadura para retração (METFORM, 2019)

APÊNDICE B - DIMENSIONAMENTO LAJE MACIÇA

LAJES	Caso	lx(m)	ly(m)	λ	ψ2	ψ3	d(m)	h(m)
L1	4	5,00	6,00	1,20	1,72	25	0,116	0,156
L2	4	4,00	6,00	1,50	1,60	25	0,100	0,140
L3	3	3,00	9,00	3,00	1,20	25	0,100	0,140

h =	10	cm	1ª adoção
d =	6	cm	

Cargas Permanente	AÇOES	esp.	γ	KN/m ²	kgf/m ²
	Peso Próprio	0,10	25	2,50	250,00
	Contra Piso	0,05	19	0,95	95,00
	Piso cerâmico	-	-	0,25	25,00
	Revestimento	0,03	19,00	0,57	57,00
	Material Inerte	0,00	0,00	0,00	0,00

Paredes	y	e	altura(m)	Comp.(m)	Ppar.	Alaje	lx ²	KN/m ²	kgf/m ²	Armação
L1	13,00	0,12	2,80	2,00	8,74	30,00	-	0,291	29,12	2 direções
L3	13,00	0,12	2,80	3,00	13,10	-	9,00	2,184	218,40	1 direção

Carga variável (q)	KN/m ²	kgf/m ²
	2,00	200,00

Cargas totais (g+q)	LAJES	permanente (g)	variável (q)	cargas totais (g+q)	
		(KN/m ²)	(KN/m ²)	(KN/m ²)	(kgf/m ²)
	L1	4,561	2,00	6,561	656,12
	L2	4,270	2,00	6,270	627,00
	L3	6,454	2,00	8,454	845,40

		FLECHAS LIMITES (cm)	
LAJE	Lx(cm)	Carga total (Lx/250)	Carga Acidental (Lx/350)
L1	500,00	2,00	1,43
L2	400,00	1,60	1,14
L3	300,00	1,20	0,86

h=	0,10	m
ES=	21287367,15	
Esh ³ =	21287,36715	
		KN/m ²
		KN.m

LAJE	Caso	lx(m)	ly(m)	λ	Flecha Limite e Elástica (mm)					
					α tab.7.2	αlx ⁴	f(g+q)	(g+q)lim q total	f(q)	qlim q acidt.
L1	4	5,00	6,00	1,20	3,34	2087,50	6,43	20,00	1,96	14,29
L2	4	4,00	6,00	1,50	4,38	1121,28	3,30	16,00	1,05	11,43
L3	3	3,00	9,00	3,00	6,38	516,78	2,05	12,00	0,49	8,57

g+q=	0,020	=	6,56 KN/m ²
			carga total (g+q)

h=	0,0685	m
h=	6,85	cm

Valor adotado de h=	7,00	cm	2ª adoção
Portanto d =	3,00	cm	

Cargas totais (g+q)	LAJES	KN/m ²	kgf/m ²
	L1	5,81	581,12
	L2	5,52	552,00
	L3	7,70	770,40

LAJES	Caso	lx(m)	ly(m)	P(KN/m ²)	Plx ²	μ _x	mx	μ _y	my	μ _x '	Xx	μ _y '	Xy
L1	4	5,00	1,20	5,81	145,28	3,76	5,46	2,79	4,05	8,69	12,62	7,63	11,08
L2	4	4,00	1,50	5,52	88,32	4,81	4,25	2,47	2,18	10,62	9,38	8,06	7,12
L3	3	3,00	3,00	7,70	69,34	7,61	5,28	1,48	1,03	12,76	8,85	-	-

	mx	my	Xx	Xy
Momentos máx.	5,46	4,05	12,62	11,08
Momentos máximo cm	12,62			

dmin. =	0,0622	m
dmin. =	6,22	cm

h =	10,22	cm	3º adoção
hadotado=	10,00	cm	
dadotado=	6,00	cm	

Cargas totais	LAJES	KN/m ²	kgf/m ²
	L1	6,56	656,12
	L2	6,27	627,00
	L3	8,45	845,40

	mx	my	Xx	Xy
Momentos máx.	6,17	4,58	14,25	12,52
Momentos máximo cm	14,25			

dmin=	0,0661	cm
dmin=	6,609	m

h =	10,61	cm	4º adoção
hadotado=	11,00	cm	
dadotado=	7,00	cm	

Cargas totais	LAJES	KN/m ²	kgf/m ²
	L1	6,81	681,12
	L2	6,52	652,00
	L3	8,70	870,40

	mx	my	Xx	Xy
Momentos máx.	6,40	4,75	14,80	12,99
Momentos máximo cm	14,80			

dmin=	0,0673	cm
dmin=	6,734	m

h =	10,73	cm	5º adoção
hadotado=	11,00	cm	
dadotado=	7,00	cm	

LAJE	LAJE 1				LAJE 2				LAJE 3			
	mx	my	Xx	Xy	mx	my	Xx	Xy	mx	my	Xx	Xy
Momento	6,40	4,75	14,80	12,99	5,02	2,58	11,08	8,09	5,96	1,16	10,00	-
Kc = (b d ² / Md)	5,47	7,37	2,37	2,69	6,98	13,58	3,16	4,33	5,87	30,19	3,50	-
Ks (lido na tabela)	0,025	0,024	0,030	0,029	0,025	0,024	0,027	0,026	0,025	0,023	0,027	-
Kx (lido na tabela)	0,21	0,15	0,57	0,480	0,16	0,08	0,39	0,27	0,19	0,04	0,34	-
X (Linha Neutra)	1,47	1,05	3,99	3,36	1,12	0,56	2,73	1,89	1,33	0,28	2,38	-
Es%	10,00	10,00	2,64	3,79	10,00	10,00	5,47	9,46	10,00	10,00	6,79	-
As (cm ² /m)	3,20	2,28	8,88	7,54	2,51	1,24	5,98	4,20	2,98	0,53	5,40	-

BARRA	ø(mm)	QUANTIDADE	COMPRIMENTO(mm)	
			UNITÁRIO	TOTAL
N1	8,0	40,0	5,02	200,80
N2	8,0	25,0	6,02	150,50
N3	8,0	30,0	4,02	120,60
N4	8,0	20,0	6,02	120,40
N5	8,0	50,0	3,02	151,00
N6	8,0	15,0	9,02	135,30
N7	10,0	60,0	3,25	195,00
N8	10,0	60,0	3,00	180,00
N9	10,0	27,0	2,75	74,25