

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL**

**Stefane do Nascimento Bonini**

**LAJES MISTAS *STEEL DECK*: ESTUDO COMPARATIVO  
COM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO QUANTO  
AO DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL**

Porto Alegre  
junho 2013

**STEFANE DO NASCIMENTO BONINI**

**LAJES MISTAS *STEEL DECK*: ESTUDO COMPARATIVO  
COM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO**

Trabalho de Diplomação apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Escola de Engenharia da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro Civil

**Orientador: Ruy Carlos Ramos de Menezes**

Porto Alegre  
junho 2013

**STEFANE DO NASCIMENTO BONINI**

**LAJES MISTAS *STEEL DECK*: ESTUDO COMPARATIVO  
COM LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO**

Este Trabalho de Diplomação foi julgado adequado como pré-requisito para a obtenção do título de ENGENHEIRO CIVIL e aprovado em sua forma final pelo Professor Orientador e pela Coordenadora da disciplina Trabalho de Diplomação Engenharia Civil II (ENG01040) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Porto Alegre, junho de 2013

Prof. Ruy Carlos Ramos de Menezes  
Dr. techn. pela Universität Innsbruck, Áustria  
Orientador

Profa. Carin Maria Schmitt  
Coordenadora

**BANCA EXAMINADORA**

**Prof. Roberto Domingo Rios (UFRGS)**  
Dr. em Engenharia pela UFRGS

**Prof. Felipe Schaedler de Almeida (UFRGS)**  
Dr. em Engenharia pela UFRGS

**Prof. Ruy Carlos Ramos de Menezes (UFRGS)**  
Dr. techn. pela Universität Innsbruck, Áustria

Dedico este trabalho a meus pais, Nilton e Marlene, que sempre me apoiaram e estiveram ao meu lado.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao Prof. Ruy Carlos Ramos de Menezes, orientador deste trabalho, pelo auxílio, incentivo e confiança em mim depositada.

Agradeço a Profa. Carin Maria Schmitt, pela orientação precisa, ensinamentos, dedicação e pela paciência em compartilhar seus conhecimentos.

Agradeço ao Rodrigo Bastos Alvarenga Pereira, pela disponibilização dos materiais do fabricante METFORM SA e por todo auxílio concedido.

Agradeço aos meus pais, Nilton e Marlene, pelo amor e educação que me deram.

Agradeço ao meu namorado, Diego, por seu companheirismo, apoio, compreensão, sendo durante todo período de graduação essencial, me ajudando em tudo que estava ao seu alcance, de maneira ímpar.

Agradeço aos meus amigos da Engenharia Civil, que sem os mesmos a faculdade seria muito mais difícil, pelos grupos de estudo, pelos materiais emprestados, pelo auxílio, pelas risadas, por tudo.

Agradeço aos meus amigos e colegas de empresa, da Maiojama, que durante o período de realização deste trabalho de conclusão, me apoiaram e incentivaram.

Confia ao SENHOR as tuas obras, e teus pensamentos  
serão estabelecidos.

*Provérbios 16:3*

## RESUMO

Este trabalho versa sobre a comparação, entre lajes mistas de aço e concreto e maciças de concreto armado quanto às verificações necessárias para o dimensionamento de ambas as soluções estruturais. Destaca-se inicialmente a avaliação das vantagens e desvantagens da utilização dos dois sistemas. Após, inicia-se a apresentação das considerações de projeto para o dimensionamento das lajes, de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas. Com essas informações, programaram-se planilhas eletrônicas utilizando o *Microsoft Office Excel* com as rotinas de cálculo das verificações necessárias de lajes mistas e maciças, para aplicar no dimensionamento de um pavimento tipo de uma edificação residencial. Por fim, apresenta-se os diferentes resultados, das duas soluções para lajes, obtidas para o mesmo projeto. Sendo assim, foi possível analisar, para o pavimento estudado, que a solução com laje mista consumiu 2,4 m<sup>3</sup> a mais de concreto, em relação a lajes maciças, já que foi necessário utilizar uma espessura de 140 mm para lajes mistas, e 80 mm para lajes maciças. Entretanto, em contrapartida ao maior consumo de concreto, o sistema de lajes mistas determinado, não requer escoramento, diferente do que ocorre para as lajes maciças.

Palavras-chave: Lajes Mistas *Steel Deck*. Lajes Maciças de Concreto Armado. Verificações para o Dimensionamento de Lajes. Dimensionamento de Lajes em Planilha Eletrônica.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Diagrama das etapas do projeto de pesquisa .....	21
Figura 2 – Fôrmas de lajes mistas .....	24
Figura 3 – Perspectiva de lajes mistas <i>steel deck</i> .....	25
Figura 4 – Corte de lajes mistas <i>steel deck</i> .....	25
Figura 5 – Perspectiva de lajes maciças de concreto armado .....	28
Figura 6 – Corte de lajes maciças de concreto armado .....	28
Figura 7 – Seções críticas .....	34
Figura 8 – Exemplo de análise de laje contínua .....	35
Figura 9 – Diagrama de tensões para momento positivo - Linha neutra plástica acima da fôrma de aço .....	37
Figura 10 – Diagrama de tensões para momento positivo - Linha neutra plástica na fôrma de aço .....	37
Figura 11 – Diagrama de tensões para momento negativo .....	41
Figura 12 – Largura plana dos elementos da fôrma .....	42
Figura 13 – Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto .....	47
Figura 14 – Detalhamento de armaduras adicionais sobre vigas .....	49
Figura 15 – Vão efetivo .....	53
Figura 16 – Lajes armadas em uma e duas direções .....	53
Figura 17– Momento fletor negativo no engaste ( $m'$ ) .....	56
Figura 18 – Momento fletor positivo $m_a$ e $m_b$ .....	56
Figura 19 – Altura útil $d_a$ e $d_b$ .....	64
Figura 20 – Perspectiva da estrutura de aço do edifício .....	68
Figura 21 – Planta baixa e plano das vigas do pavimento tipo .....	69
Figura 22 – Seção da laje mista do pavimento tipo .....	71
Figura 23 – Carregamentos L1-L2 e L5-L6 .....	73
Figura 24 – Carregamentos L3 .....	73
Figura 25 – Carregamentos L4 .....	74
Figura 26 – Diagrama de esforço cortante L1-L2 e L5-L6 .....	74
Figura 27 – Diagrama de momento fletor L1-L2 e L5-L6 .....	75
Figura 28 – Diagrama de esforço cortante L3 .....	75
Figura 29 – Diagrama de momento fletor L3 .....	75
Figura 30 – Diagrama de esforço cortante L4 .....	75
Figura 31 – Diagrama de momento fletor L4 .....	75

Figura 32 – Vinculações das bordas das lajes do pavimento tipo .....	77
--	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Disposições construtivas para lajes mistas <i>steel deck</i> .....	30
Quadro 2 – Fórmulas para o cálculo do momento fletor nas lajes armadas em uma direção no regime rígido-plástico .....	55
Quadro 3 – Fórmulas para o cálculo do momento fletor nas lajes armadas em uma direção no regime elástico .....	60
Quadro 4 – Valores mínimos para armaduras em lajes de concreto armado .....	66

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Valores do coeficiente $\xi$ em função do tempo .....	63
Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para $\Delta c = 10$ mm .....	64
Tabela 3 – Taxas mínimas de armadura .....	66
Tabela 4 – Carregamentos nas lajes mistas variando o peso próprio .....	72

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho_c$  – massa específica do concreto

$N_{cf}$  – força de compressão no concreto, considerando interação total ao cisalhamento longitudinal

$b$  – largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm em lajes mistas, maior vão ou 100 cm em lajes maciças

$t_c$  – altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço

$f_{cd}$  – resistência de cálculo à compressão do concreto

$N_{pa}$  – força de tração na fôrma de aço, considerando interação total ao cisalhamento longitudinal

$A_{F,ef}$  – área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm), determinada desprezando-se a largura das mossas na seção transversal

$f_{yFd}$  – resistência de cálculo ao escoamento do aço da fôrma

$a$  – altura o bloco de compressão do concreto em lajes mistas, menor vão em lajes maciças

$M_{Rd}$  – momento fletor resistente

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

$y$  – distância entre  $N_{cf}$  e  $N_{pa}$

$M_{pr}$  – momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial

$h_t$  – altura total da laje, incluindo a fôrma e o concreto

$e_p$  – distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior

$e$  – distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à face inferior

$M_{pa}$  – momento de plastificação da fôrma de aço, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma_{a1}$

$A_s$  – área de armadura por unidade de comprimento

$f_{sd}$  – resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura

$z$  – distância entre  $N_s$  e  $N_c$

$N_c$  – força de compressão

$b_c$  – largura de concreto comprimida no interior das nervuras

$x$  – altura da linha neutra plástica

$d_s$  – altura da posição da armadura negativa.

$b_f$  – largura plana do elemento

$E$  – módulo de elasticidade do aço

$f_{yF}$  – resistência ao escoamento do aço da fôrma

$t_F$  – espessura da fôrma de aço

$V_{Rd}$  – força cortante longitudinal resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço incorporada

$m$  – constantes empíricas

$k$  – constantes empíricas

$L_s$  – vão de cisalhamento

$\gamma_{sl}$  – coeficiente de ponderação da resistência

$V_{v,Rd}$  – força cortante vertical resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço incorporada

$V_{v,F,Rd}$  – força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço incorporada

$V_{v,c,Rd}$  – força cortante vertical resistente de cálculo do concreto

$V_{Max}$  – limite da força cortante

$d$  – distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração em lajes mistas, altura útil em lajes maciças

$l_{b, nec}$  – comprimento de ancoragem necessário

$A_V$  – área resistente do concreto

$b_n$  – largura entre duas nervuras consecutivas

$f_{ctk, inf}$  – resistência à tração direta característica inferior do concreto

$\gamma_c$  – coeficiente de ponderação a resistência do concreto

$f_{ck}$  – resistência característica à compressão do concreto

$A_{s1}$  – área de armadura acima de vigas secundárias

$L_{sm}$  – vão médio das vigas secundárias

$h_c$  – altura de concreto acima do *steel deck*

$A_{s2}$  – área de armadura acima de vigas primárias

$L_{pm}$  – vão médio das vigas primárias

$f$  – deformação

$p$  – carga distribuída total

$l$  – comprimento da laje de apoio a apoio, menor vão da laje

$E_{cs}$  – módulo de elasticidade secante do concreto

$I$  – momento de inércia da laje mista

$l_{ef}$  – vão efetivo da laje

$l_0$  – distância entre as faces internas dos apoios

$a_1$  – menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3h$

$a_2$  – menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3h$

$m'$  – momento fletor negativo no engaste

$i$  – grau de engastamento

$m$  – momento fletor

$a_r$  – vão reduzido

$b_r$  – vão reduzido

$\varphi$  – coeficiente de ortotropia

$b_{r*}$  – razão do vão  $b$  pela raiz do coeficiente de ortotropia

$m_a$  – momento na seção crítica, momento máximo no vão para lajes biapoiadas ou contínuas, para a combinação quase permanente de serviço

$m_f$  – momento de fissuração da laje

$I_{eq}$  – momento de inércia da seção

$I_c$  – momento de inércia da seção bruta de concreto

$f_{ctm}$  – resistência média à tração do concreto

$m$  – momento de fissuração da laje

$h$  – espessura da laje, altura da laje

$f_{(t=0)}$  – flecha imediata

$p_{d, serv}$  – carga superficial de serviço, para combinações frequentes, atuante na laje

$f_{(t=\infty)}$  – flecha de longa duração

$c$  – cobrimento.

$m_d$  – momento fletor solicitante

$N_{cf}$  = força de compressão no cisalhamento longitudinal

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	17
<b>2 DIRETRIZES DA PESQUISA</b> .....	19
2.1 QUESTÃO DE PESQUISA .....	19
2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA .....	19
<b>2.2.1 Objetivo principal</b> .....	19
<b>2.2.2 Objetivos secundários</b> .....	19
2.3 PRESSUPOSTOS .....	19
2.4 DELIMITAÇÕES .....	20
2.5 LIMITAÇÕES .....	20
2.6 DELINEAMENTO .....	20
<b>3 LAJES</b> .....	23
3.1 LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i> .....	23
<b>3.1.1 Vantagens no uso de lajes mistas <i>steel deck</i></b> .....	25
<b>3.1.2 Desvantagens no uso de lajes mistas <i>steel deck</i></b> .....	26
3.2 LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	27
<b>3.2.1 Vantagens no uso de lajes maciças de concreto armado</b> .....	28
<b>3.2.2 Desvantagens no uso de lajes maciças de concreto armado</b> .....	28
<b>4 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i></b> .....	30
4.1 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS .....	30
4.2 AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i> .....	31
<b>4.2.1 Ações a serem consideradas na fase inicial</b> .....	31
<b>4.2.2 Ações a serem consideradas na fase final</b> .....	32
4.3 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS <i>STEEL DECK</i> .....	32
<b>4.3.1 Verificação da fôrma de aço na fase inicial</b> .....	32
<b>4.3.2 Verificação da laje na fase final</b> .....	33
4.3.2.1 Estados limites últimos .....	35
4.3.2.1.1 <i>Momento fletor</i> .....	35
4.3.2.1.2 <i>Cisalhamento longitudinal</i> .....	43
4.3.2.1.3 <i>Cisalhamento vertical</i> .....	45
4.3.2.2 Estados limites de serviço .....	47
4.3.2.2.1 <i>Fissuração do concreto</i> .....	47
4.3.2.2.2 <i>Deslocamento vertical</i> .....	49

<b>5 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO .....</b>	<b>50</b>
5.1 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS .....	50
5.2 AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	51
5.3 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	52
<b>5.3.1 Estados limites últimos .....</b>	<b>54</b>
5.3.1.1 Lajes armadas em uma direção .....	54
5.3.1.2 Lajes armadas em duas direções .....	55
5.3.1.2.1 Lajes isótropas .....	57
5.3.1.2.2 Lajes ortótropas .....	57
<b>5.3.2 Estados limites de serviço .....</b>	<b>59</b>
5.3.2.1 Estado limite de deformação .....	59
5.3.2.2 Armadura longitudinal mínima .....	63
<b>6 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS STEEL DECK E MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO EM UM PAVIMENTO TIPO EXEMPLO .....</b>	<b>68</b>
6.1 DIMENSIONAMENTO ADOTANDO O SISTEMA DE LAJES MISTAS STEEL DECK .....	70
<b>6.1.1 Dados geométricos .....</b>	<b>71</b>
<b>6.1.2 Determinação da espessura .....</b>	<b>71</b>
<b>6.1.3 Carregamentos .....</b>	<b>72</b>
<b>6.1.4 Cálculo das solicitações .....</b>	<b>73</b>
<b>6.1.5 Verificações .....</b>	<b>75</b>
<b>6.1.6 Resultados .....</b>	<b>76</b>
6.2 DIMENSIONAMENTO ADOTANDO O SISTEMA DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO .....	77
<b>6.2.1 Dados geométricos .....</b>	<b>77</b>
<b>6.2.2 Determinação da espessura .....</b>	<b>78</b>
<b>6.2.3 Carregamentos .....</b>	<b>78</b>
<b>6.2.4 Cálculo das solicitações .....</b>	<b>79</b>
<b>6.2.5 Dimensionamento das armaduras .....</b>	<b>79</b>
<b>6.2.6 Resultados .....</b>	<b>80</b>
<b>7 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>81</b>

REFERÊNCIAS .....	82
APÊNDICE A .....	84
APÊNDICE B .....	88
ANEXO A .....	97
ANEXO B .....	100
ANEXO C .....	102
ANEXO D .....	104
ANEXO E .....	106
ANEXO F .....	108



## 1 INTRODUÇÃO

A incessante busca por redução de custos e prazos na construção civil abre portas para a utilização de sistemas construtivos diferentes dos convencionais. Um exemplo disso é a adoção de lajes mistas, ao invés de lajes maciças de concreto armado, em alguns projetos atuais. Constituída de uma chapa metálica e concreto, cada componente do sistema atua, inicialmente, de forma isolada, porém após o concreto atingir 75% da sua resistência à compressão, atribui-se o comportamento misto à estrutura. A chapa metálica resiste aos carregamentos iniciais, ou seja, carregamentos durante a construção e devido às ações permanentes relativas ao peso próprio. Posteriormente, já em ação composta, a chapa metálica age com a função de armadura de tração da laje, podendo em alguns casos atuar sozinha, dispensando a necessidade de armadura adicional (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211). Gomes (2001, p. 2) destaca:

As vantagens desse sistema de piso misto são muitas, a começar pelo fato do *Steel Deck* servir como fôrma para o concreto fresco e permanecer em definitivo no local, o que elimina os custos com a desforma. Pode, igualmente, ser utilizado como plataforma de trabalho suportando as cargas provenientes da construção (materiais, ferramentas, operários, etc.), fazendo com que os apoios temporários (escoras) sejam abolidos ou reduzidos. Além disso, o *Steel Deck*, por ser leve, é fácil de ser manejado e posicionado, reduzindo o tempo de instalação [...].

Sendo assim, este trabalho visa apresentar um estudo comparativo, exibindo as diferenças no dimensionamento do sistema de lajes mistas do tipo *steel deck*, com o sistema de lajes maciças de concreto armado. As estruturas de concreto armado têm seu processo de dimensionamento já consolidado, sendo que a primeira norma técnica lançada pela Associação Brasileira de Normas Técnicas foi a NB-1 – Cálculo e Execução de Obras de Concreto Armado –, em 1940. Atualmente correspondendo a NBR 6118, que passou por várias revisões até hoje, sendo a versão de 2007 a que está em vigor.

Diferentemente das estruturas de concreto armado, a primeira norma a respeito do dimensionamento de estruturas de aço só surgiu em 1958 (NB-14 – Cálculo e Execução de Estruturas de Aço – edifícios). Quase 30 anos depois, em 1986, foi lançada a NBR 8800, norma para o dimensionamento de estruturas de aço, porém incluindo o processo de cálculo para o dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto, não abordado na norma anterior.

Em 1999, é lançada a NBR 14323<sup>1</sup>, norma referente ao dimensionamento de estruturas de aço a altas temperaturas, abordando inclusive, as estruturas mistas (vigas, pilares e lajes). Até então, a NBR 8800 não apresentava o processo de cálculo de pilares e lajes mistas, portanto a NBR 14323<sup>2</sup>, além de descrever o dimensionamento destas estruturas para situações de incêndio, apresenta o dimensionamento a temperatura ambiente (FAKURY, 2007, p. 234). Somente em 2008, é lançada a nova versão da NBR 8800, apresentando, nos seus anexos O, P e Q, os métodos de cálculo de vigas, pilares e lajes mistas respectivamente. Ou seja, por mais que exista uma série de vantagens relacionadas à utilização do sistema de lajes mistas, seu uso ainda é limitado no Brasil, visto que a recente normalização é um fator importante a ser considerado, na utilização deste sistema em relação ao sistema tradicional de lajes maciças.

O desenvolvimento deste trabalho envolveu uma revisão bibliográfica tendo como base as normas técnicas brasileiras para o dimensionamento das lajes mistas e maciças. Através dessas informações foi possível estruturar as rotinas de cálculo em planilhas eletrônicas, com o *Microsoft Office Excel*, para avaliar o resultado das duas diferentes possibilidades de soluções estruturais para lajes em um mesmo projeto de pavimento tipo de uma edificação.

Após este primeiro capítulo de introdução, no capítulo 2 encontram-se as diretrizes de pesquisa, ou seja, a questão de pesquisa, os objetivos do trabalho, os pressupostos, as delimitações, as limitações e o delineamento do trabalho, que apresenta uma breve descrição das suas etapas. O capítulo 3 apresenta a descrição das vantagens e desvantagens na utilização de lajes mistas e maciças. Os capítulos 4 e 5, por sua vez, descrevem quais considerações devem ser feitas no desenvolvimento de um projeto de lajes mistas e maciças, respectivamente.

O sexto capítulo, exibe o dimensionamento de um pavimento tipo exemplo, destacando a rotina de cálculo para os dois sistemas, apresentando as etapas, e por fim os resultados que foram atingidos através das planilhas eletrônicas. Finalmente, o capítulo 7 apresenta as considerações finais deste trabalho a respeito de lajes mistas e maciças.

---

<sup>1</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14323**: dimensionamento de estruturas de aço de edifícios em situação de incêndio – procedimento. Rio de Janeiro, 1999.

<sup>2</sup> op. cit.

## 2 DIRETRIZES DA PESQUISA

As diretrizes para desenvolvimento do trabalho são descritas nos próximos itens.

### 2.1 QUESTÃO DE PESQUISA

A questão de pesquisa do trabalho é: quais são as diferenças no procedimento de dimensionamento de lajes mistas (*steel deck*) e maciças de concreto armado?

### 2.2 OBJETIVOS DA PESQUISA

Os objetivos da pesquisa estão classificados em principal e secundário e são descritos a seguir.

#### 2.2.1 Objetivo Principal

O objetivo principal do trabalho é a descrição comparativa das verificações necessárias para o dimensionamento de lajes mistas (*steel deck*) e maciças de concreto armado.

#### 2.2.2 Objetivos secundários

Os objetivos secundários do trabalho são o desenvolvimento de rotina de cálculo em planilha eletrônica para o dimensionamento de:

- a) lajes mistas (*steel deck*);
- b) lajes maciças de concreto armado.

### 2.3 PRESSUPOSTOS

São pressupostos deste trabalho que são válidas as recomendações apresentadas:

- a) na NBR 8800/2008 (Projeto de Estruturas de Aço e de Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios), para o dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto;
- b) na NBR 6118/2007 (Projeto de Estruturas de Concreto: procedimento) referentes ao dimensionamento de lajes maciças de concreto armado.

## 2.4 DELIMITAÇÕES

O trabalho delimita-se ao estudo de lajes mistas de aço e concreto e lajes maciças de concreto armado, em edifícios residenciais, de geometria retangular, sem bordas livres, com carregamento distribuído e estático.

## 2.5 LIMITAÇÕES

As limitações do trabalho são apresentadas abaixo:

- a) as verificações da fôrma de aço das lajes mistas no estado limite último e estado limite de serviço na fase inicial, com base na NBR 14762/2001<sup>3</sup>, não foram avaliadas, já que foram consideradas válidas as informações fornecidas pelo fabricante METFORM SA quanto à capacidade de carga das fôrmas;
- b) análise dos dois sistemas estruturais somente a temperatura ambiente, ou seja, não foi feita análise do dimensionamento a altas temperaturas (incêndio);
- c) análise dos sistemas somente com a utilização de concretos de massa específica ( $\rho_c$ ) de 2000 a 2800 kg/m<sup>3</sup>;
- d) o dimensionamento estrutural de cada sistema de lajes, lajes mistas e lajes maciças de concreto armado, realizou-se utilizando planilhas geradas através do *Microsoft Office Excel*, sendo que, para lajes mistas também se fez uso dos diagramas de esforço cortante e momento fletor gerados através do *software Ftool*;
- e) utilização de um único pavimento tipo para exemplificar o dimensionamento dos dois sistemas de lajes.

## 2.6 DELINEAMENTO

O trabalho foi realizado através das etapas apresentadas a seguir, que estão representadas na figura 1, e são descritas nos próximos parágrafos:

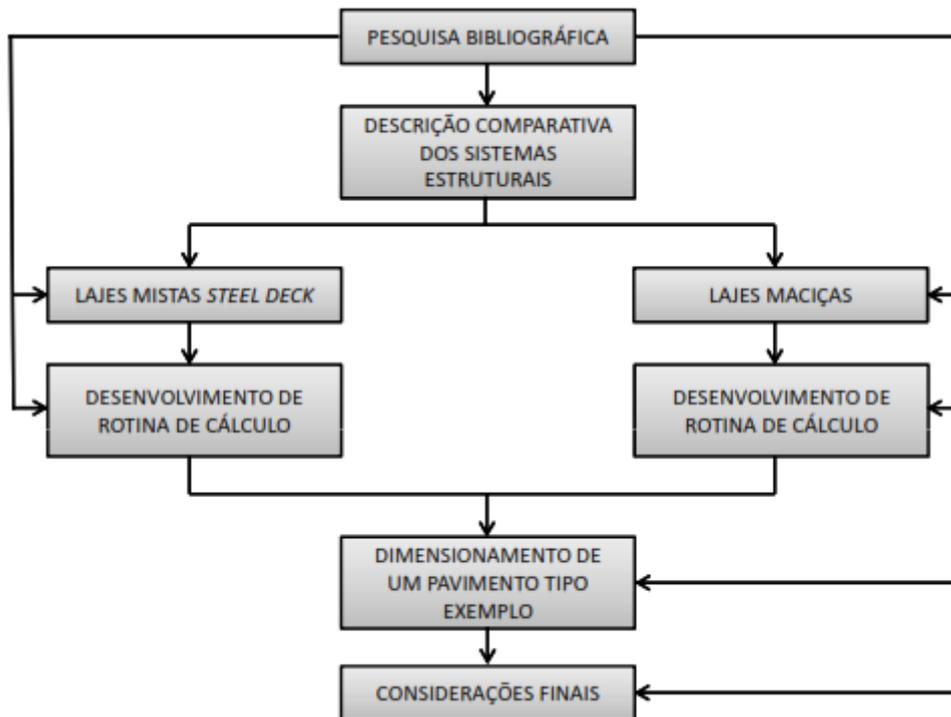
- a) pesquisa bibliográfica;

---

<sup>3</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

- b) descrição comparativa dos sistemas estruturais de lajes mistas *steel deck* e maciças de concreto armado;
- c) desenvolvimento de rotina de cálculo;
- d) dimensionamento de um pavimento tipo exemplo;
- e) considerações finais.

Figura 1 – Diagrama das etapas do projeto de pesquisa



(fonte: elaborado pela autora)

A primeira etapa do trabalho foi a **pesquisa bibliográfica**, para, com as informações buscadas, aprofundar o conhecimento a respeito das lajes mistas de aço e concreto e das lajes maciças de concreto armado. Esta etapa se estendeu por toda a pesquisa, sendo parte integrante de todo desenvolvimento do trabalho.

A segunda etapa deste trabalho, baseada na pesquisa bibliográfica, foi a **descrição comparativa dos sistemas estruturais com lajes mistas *steel deck* e maciças**. Primeiramente, apresentou-se uma breve análise dos tipos de lajes estudadas neste trabalho, a descrição das vantagens e desvantagens de cada sistema e, por fim, o detalhamento do processo de dimensionamento de ambos, destacando as particularidades de cada um.

Após a descrição do dimensionamento dos dois sistemas estruturais, para cada um se desenvolveu uma **rotina de cálculo** em planilha eletrônica. Essas rotinas foram programadas através do *Microsoft Office Excel*.

Com a definição das rotinas de cálculo, foi **dimensionado um pavimento tipo exemplo** de um edifício residencial, a fim de aplicar as rotinas e verificar os resultados obtidos para um mesmo pavimento com as duas soluções estruturais. Após o dimensionamento da estrutura foi possível analisar as diferenças apresentadas em cada solução.

As **considerações finais** da pesquisa foram à última etapa deste trabalho. Basicamente, fez-se uma análise, com base nos resultados obtidos no dimensionamento do pavimento tipo exemplo, do emprego de cada solução estrutural (lajes mistas e lajes maciças).

### 3 LAJES

As lajes são, segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007, p. 291, grifo do autor), “[...] elementos estruturais de **superfície plana** [...], em que a dimensão perpendicular à superfície, usualmente denominada espessura, é relativamente pequena comparada às demais (largura e comprimento), estando sujeitas principalmente a **ações normais a seu plano**.”. Essas ações podem ser permanentes e variáveis, gerando carregamentos que são transferidos aos apoios.

Variando os métodos construtivos, existem várias soluções para lajes. A seleção do tipo mais adequado depende de muitas variáveis, pois além da estrutura resistir aos esforços a ela aplicados, ela deve ser adequada a obra em que for utilizada, pois por mais que uma solução estrutural seja boa, não necessariamente, pode ser a melhor solução para todas as situações. Bellei e Bellei (2011, p. 44) descrevem que para edifícios estruturados em aço:

A escolha é normalmente orientada por [...] fatores, como: a velocidade na obra, o vão livre dos vigamentos secundários, os recursos da construtora, a necessidade de operações simultâneas para cumprir o cronograma, a existência de vigas mistas que exigem uma determinada espessura de concreto moldado no local, etc.

Este trabalho aborda a comparação, com relação ao processo de dimensionamento, de dois tipos de lajes: maciças e mistas *steel deck*. Entretanto, é importante destacar as principais características destas duas soluções estruturais, portanto, nos próximos itens são apresentadas as vantagens e desvantagens de cada sistema.

#### 3.1 LAJES MISTAS *STEEL DECK*

A combinação de elementos de aço e concreto, na construção civil, vem da busca de obter as máximas vantagens das propriedades de cada componente, e sua utilização é incentivada exatamente pela inexistência de um único material que tenha todas as qualidades requeridas (BELTRÃO, 2003, p. 22). Assim sendo, a partir de 1930, nos Estados Unidos, iniciou-se o uso de chapas metálicas como fôrma de lajes, porém não existia a pretensão de que houvesse a ação composta dos dois materiais, a chapa metálica e o concreto. A utilização da fôrma metálica limitava-se a resistir aos carregamentos somente durante a construção, após a cura do

concreto, este último era o único responsável por suportar todos os carregamentos (GOMES, 2001, p. 1). Em 1940, teve início a utilização de lajes mistas do tipo *steel deck*, já no mesmo contexto atual, considerando-se a ação composta dos dois elementos para resistir aos carregamentos da estrutura, e admitindo que a chapa atua como armadura de tração da laje (GOMES, 2001, p. 2).

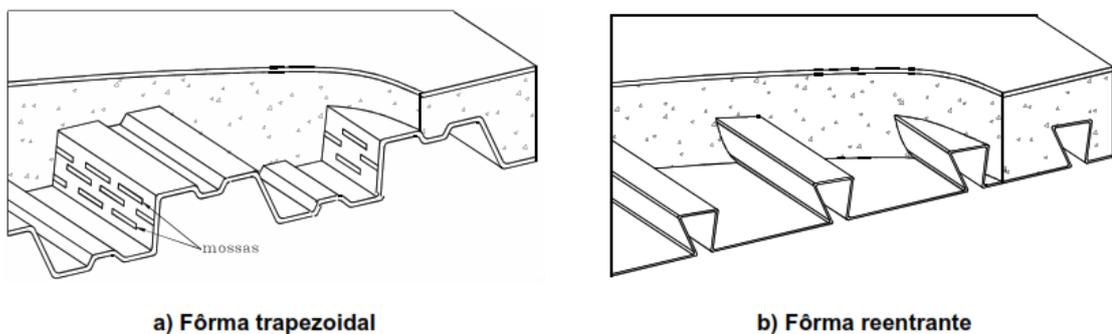
A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211) descreve que:

Nas lajes mistas, a fôrma de aço deve ser capaz de transmitir o cisalhamento longitudinal na interface entre o aço e o concreto. A aderência natural entre o aço e o concreto não é considerada efetiva para o comportamento misto, o qual deve ser garantido por [...]:

- a) ligação mecânica por meio de mossas nas fôrmas de aço trapezoidais;
- b) ligação por meio do atrito devido ao confinamento do concreto nas fôrmas de aço reentrantes.

A aderência entre a fôrma de aço e o concreto é essencial, pois “A ausência de aderência gera um deslizamento entre os dois materiais fazendo com que ambos trabalhem de forma isolada, além de impossibilitar a transferência de esforços.” (BELTRÃO, 2003, p. 35). A figura 2 apresenta as fôrmas de aço indicadas pela NBR 8800. Adota-se, além dos recursos citados pela Norma, para ancoragem de extremidade: conectores de cisalhamento em arranjo com as fôrmas do tipo (a), e a deformação das nervuras na extremidade da chapa, para fôrmas do tipo (b) (GOMES, 2001, p. 3).

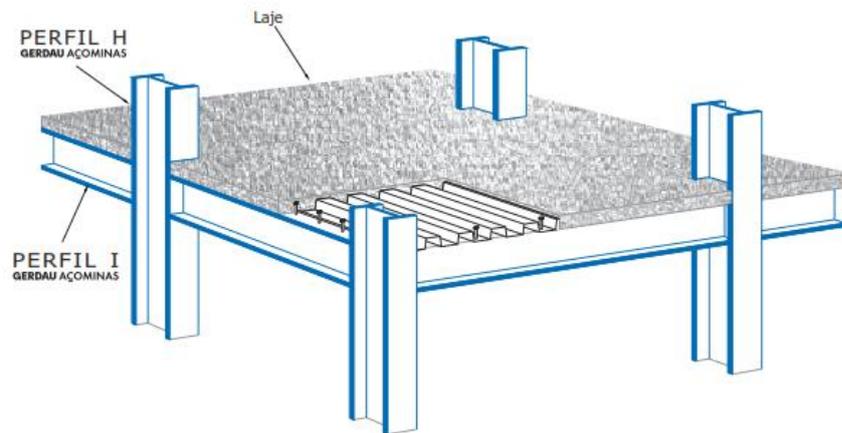
Figura 2 – Fôrmas de lajes mistas



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 211)

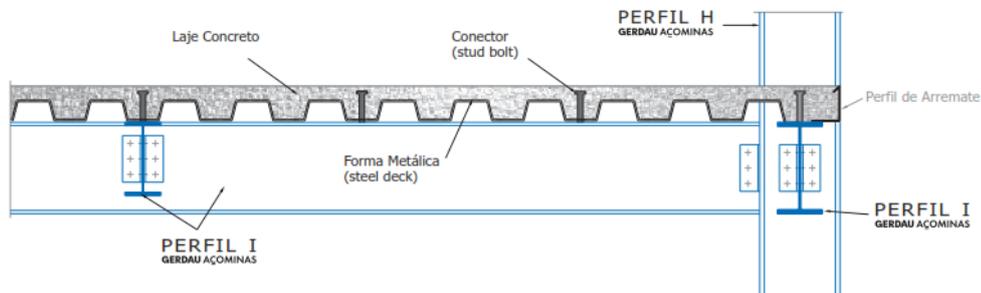
Nas figuras 3 e 4, é possível visualizar uma perspectiva desse tipo de laje e o corte transversal indicando os principais elementos presentes na estrutura. Os itens seguintes apresentam as vantagens e desvantagens do sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada.

Figura 3 – Perspectiva de lajes mistas *steel deck*



(fonte: COELHO, 2007, p. 48)

Figura 4 – Corte de lajes mistas *steel deck*



(fonte: COELHO, 2007, p. 48)

### 3.1.1 Vantagens no uso de lajes mistas *steel deck*

A utilização de lajes mistas normalmente está associada a obras em que há curto prazo para execução, em que existe racionalização de materiais, ou ainda quando não há possibilidade de escoramentos, característico de obras de pontes e passarelas por exemplo. Bragança (2000) pontua as principais vantagens na utilização deste sistema estrutural, como:

- a) a dupla função da chapa metálica, servindo como fôrma para o concreto fresco e como armadura de tração da laje;

- b) a possibilidade de supressão total (mais frequente), ou parcial do escoramento das lajes, visto que a chapa metálica é quem resiste aos esforços iniciais;
- c) a adoção da fôrma metálica como acabamento final da laje;
- d) a utilização em edifícios com estrutura metálica, pois se considera as vigas metálicas como vigas mistas (ao adotar conectores de cisalhamento em conjunto com a laje e a viga), podendo, portanto, diminuir a seção transversal dos perfis metálicos;
- e) o ganho de prazo na execução dos serviços dos pavimentos inferiores a laje mista, devido a supressão do escoramento;
- f) a facilidade na montagem das lajes, assim como no transporte das chapas metálicas no canteiro de obras;
- g) a redução de desperdícios com consumo de material para montagem de fôrmas de madeira, comparado com o sistema tradicional de lajes maciças.

Ainda relacionado às vantagens deste sistema, Cichinelli<sup>4</sup> (2012, p. 35) destaca que nas lajes mistas há economia de concreto, visto que por mais que seja necessária uma espessura final maior da laje, devido ao formato da fôrma (formato trapezoidal) haverá um consumo reduzido de concreto. Além de observar que justamente devido a este formato, há espaço, nas nervuras, para a passagem de tubulações para instalações elétricas e hidráulicas, por exemplo, evitando a necessidade de redução do pé direito do pavimento com instalações suspensas.

### **3.1.2 Desvantagens no uso de lajes mistas *steel deck***

Uma das maiores desvantagens refere-se ao número limitado de fornecedores brasileiros, pois assim, reduz-se a concorrência na aplicação dos preços das chapas metálicas, que no Brasil ainda são altos. Em países europeus, ou ainda nos Estados Unidos, este sistema estrutural já é consagrado, e os fornecedores já contam com uma maior variedade de perfis para fôrma, porém a importação das chapas também é um fator limitante, devido principalmente aos altos custos de importação no País (CICHINELLI<sup>5</sup>, 2012, p. 32).

A especificação das lajes mistas em qualquer empreendimento deve ser adequada a uma série de fatores, dentre eles: o tipo de atividade que a estrutura abrigará (um empreendimento residencial, ou uma academia, por exemplo), ou ainda o local em que construirá a edificação (no litoral ou em um centro urbano, por exemplo) e, por fim, os materiais que serão utilizados,

<sup>4</sup> A opinião descrita corresponde a Alexandre Vasconcellos, diretor geral da Método Estruturas (empresa especializada em estruturas mistas), em matéria escrita por Gisele Cichinelli, a Revista Técnica.

<sup>5</sup> op. cit.

como a chapa e o concreto. Bragança (2000) reforça esta conclusão, indicando as principais desvantagens, que podem restringir o uso desta solução estrutural, como:

- a) dependendo das condições exigidas, conforme legislação local relativa a incêndios, deve-se verificar a necessidade de armaduras adicionais passivas, a aplicação de forro de proteção, a aplicação de tintas especiais intumescentes ou a pulverização de fibras isolantes na face inferior da laje. Cabe esclarecer que, em muitos casos, conforme a norma, é dispensada qualquer proteção ou reforço;
- b) a utilização em pavimentos onde podem existir cargas dinâmicas relevantes que possam interferir na união entre a chapa de aço conformada e o concreto. Nesse caso deve ser prevista armadura de aço complementar;
- c) quando as chapas de aço conformadas forem galvanizadas, é necessário evitar a utilização de aditivos aceleradores de pega de concreto à base de cloretos, os quais atacam estas espécies de chapa;
- d) evitar a utilização de chapas galvanizadas em locais desprotegidos nos quais pode haver presença de sais clorados trazidos pelo vento, como em áreas costeiras. Nesse caso as chapas de aço conformadas devem ser utilizadas somente como fôrma autoportante perdida, sendo adicionadas armaduras de reforço.

A falta de compatibilização entre projetos estruturais, e projetos de instalações prediais (instalações elétricas, instalações hidráulicas, etc.) é um problema recorrente na construção civil, porém acaba por ser uma limitação na utilização de lajes mistas. Isso ocorre, quando existe a necessidade de muitas aberturas nessas lajes, que sem o prévio conhecimento do projetista estrutural, dificulta a execução dos reforços (CICHINELLI<sup>6</sup>, 2012, p. 36).

### 3.2 LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

As lajes maciças de concreto armado são amplamente utilizadas, sendo a solução estrutural mais comum apresentada em edifícios residenciais e comerciais (BELTRÃO, 2003, p. 26). Porém, segundo Albuquerque e Pinheiro (2002, p. 2), “A laje maciça não é adequada para vencer grandes vãos. [...] [Sendo] prática usual adotar-se como vão médio econômico um valor entre 3,5 m e 5 m.”. As figuras 5 e 6 apresentam uma perspectiva desse tipo de laje e o corte transversal indicando os principais elementos presentes na estrutura. Como descrito para lajes mistas, lajes maciças também apresentam vantagens e desvantagens em relação a sua utilização, sendo as mesmas, apresentadas nos próximos itens.

---

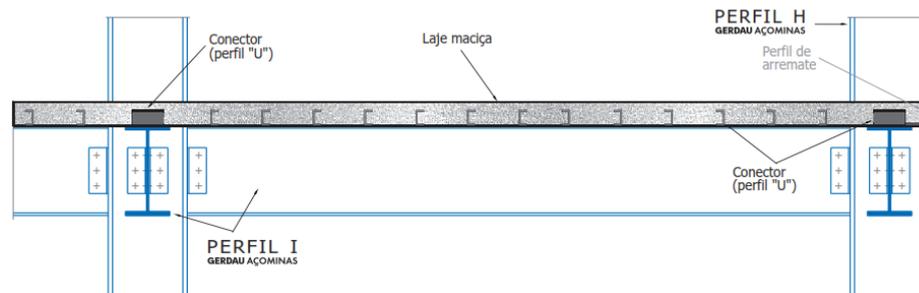
<sup>6</sup> A opinião descrita corresponde a João Alberto de Abreu Vendramini, vice-presidente de marketing da Abece (Associação Brasileira de Engenharia e Consultoria Estrutural), em matéria escrita por Gisele Cichinelli, a Revista Técnica.

Figura 5 – Perspectiva de lajes maciças de concreto armado



(fonte: COELHO, 2007, p. 46)

Figura 6 – Corte de lajes maciças de concreto armado



(fonte: COELHO, 2007, p. 46)

### 3.2.1 Vantagens no uso de lajes maciças de concreto armado

As principais vantagens associadas ao sistema de lajes maciças de concreto armado são (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2002, p. 2):

- a) devido à utilização de pequenos vãos, aumenta-se o número das vigas. Este aumento acaba por ser positivo, pois através do mesmo formam-se mais pórticos, elevando a rigidez estrutural;
- b) a formação da mão de obra, que conhece muito bem o processo de execução dessas lajes.

### 3.2.2 Desvantagens no uso de lajes maciças de concreto armado

As principais limitações deste sistema estão descritas nos itens a seguir:

- a) alta taxa de escoramento da estrutura, necessária até o concreto atingir a resistência especificada para que a estrutura tenha capacidade suporte

suficiente para o carregamento aplicado e o peso próprio (BELTRÃO, 2003, p. 26);

- b) peso próprio elevado, influenciando diretamente nas soluções para fundações (BELTRÃO, 2003, p. 26);
- c) alto consumo de materiais, como a madeira utilizada para as fôrmas das lajes, e o concreto (ALBUQUERQUE; PINHEIRO, 2002, p. 2).

## 4 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*

Neste capítulo são apresentadas as considerações de projeto necessárias para o dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto, conforme as prescrições presentes da NBR 8800. Inicialmente são descritas as disposições construtivas, após as ações que devem ser considerados e, por fim, as verificações necessárias para o dimensionamento dessas estruturas.

### 4.1 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Existem algumas exigências básicas com relação ao projeto de lajes mistas, que são expostas na NBR 8800. Essas prescrições, apresentadas no quadro 1, são disposições construtivas que devem ser respeitadas ao utilizar esse sistema estrutural.

Quadro 1 – Disposições construtivas para lajes mistas *steel deck*

Espessura mínima de concreto sobre a fôrma		50 mm
Dimensão máxima característica do agregado graúdo		0,40 $t_c$
		$b_o/3$
		30 mm
Armadura adicional necessária para a resistência da laje ao momento positivo e negativo		Obedecer as prescrições da NBR 6118
Comprimento mínimo de apoio	Interno	75 mm para apoio em aço ou concreto
		100 mm para apoio em outros materiais
	Externo	50 mm para apoio em aço ou concreto
		70 mm para apoio em outros materiais

(fonte: adaptado de FABRIZZI, 2007, p. 212)

As variáveis  $t_c$  e  $b_o$ , presentes no quadro 1, correspondem, respectivamente, a altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço, e a largura média das nervuras em fôrmas trapezoidais, ou, no caso de utilização de fôrmas reentrantes, a largura mínima das nervuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 220).

## 4.2 AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*

Os carregamentos que devem ser considerados nas lajes mistas são definidos pela combinação de ações que são aplicadas a estrutura ao mesmo tempo, estas são divididas entre ações permanentes e variáveis, conforme a NBR 8800. As ações são discriminadas distinguindo-se a fase inicial da fase final, sendo essenciais para o correto dimensionamento da estrutura. Os próximos itens descrevem as ações a serem consideradas no processo de cálculo.

### 4.2.1 Ações a serem consideradas na fase inicial

A fase inicial é a etapa na qual se considera que somente a fôrma metálica resiste aos carregamentos aplicados na laje e, segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219), as ações a serem consideradas nas combinações sobre a fôrma metálica são:

- a) pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço e da armadura;
- b) sobrecarga de construção;
- c) efeito de empoçamento, caso o deslocamento ultrapasse o valor [...] [ $L_F/250$ ].

Isentando a ação devido aos pesos próprios, que deve ser determinada de acordo com a espessura de laje e fôrma adotada, além das demais armaduras adicionais, a sobrecarga de construção e o efeito de empoçamento possuem especificação na NBR 8800. Para a sobrecarga de construção, a Norma recomenda a utilização de somente um dos carregamentos indicados, que conforme a situação seja o mais favorável à segurança da estrutura (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219):

- a) carga uniformemente distribuída [...] [com no mínimo  $1\text{kN/m}^2$ ];
- 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.

Para o efeito de empoçamento, a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219) estabelece que este só deva ser avaliado “Se o deslocamento [...] ultrapassar o valor de  $L_F/250$ , onde  $L_F$  é o vão teórico da laje na direção das nervuras, [...]”

[ultrapassando, considera-se] um acréscimo na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.”. Este efeito refere-se ao deslocamento provocado pelo acúmulo de concreto sobre a superfície da fôrma, de acordo com seu vão livre.

O cálculo do carregamento, considerando as ações descritas, para o dimensionamento da fôrma, deve ser feito para as combinações últimas de construção. Segundo a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 20), essas combinações levam em conta “[...] estruturas em que [...] [existem] riscos de ocorrência de estados-limites últimos, já durante a fase de construção.”. Esse é o caso das fôrmas, sendo assim, adota-se como ação variável principal, o valor característico do peso próprio do concreto aplicado sobre a mesma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 220).

#### **4.2.2 Ações a serem consideradas na fase final**

As ações consideradas na fase final, quando se considera que o concreto, juntamente com fôrma, resiste aos carregamentos, devem ser todas as presentes na estrutura. Ou seja, todas as ações permanentes devido ao peso próprio e revestimentos, além das ações variáveis devido ao uso e ocupação. Por fim, o cálculo do carregamento, nesta fase, determina-se de acordo com as combinações últimas normais.

### **4.3 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK***

O dimensionamento de lajes mistas, de acordo com a NBR 8800, passa pelas verificações da fôrma, na fase inicial, e pelas verificações da laje, na fase final. Sendo assim, são apresentados nos próximos itens, as verificações necessárias em cada etapa.

#### **4.3.1 Verificação da fôrma de aço na fase inicial**

A fase inicial está diretamente ligada à capacidade suporte da chapa metálica em resistir aos esforços aplicados, portanto, de acordo com a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 212), é necessária à verificação da fôrma nos estados limites últimos, e estados limites de serviço. Nos **estados limites últimos**, a Norma descreve que “A

verificação da fôrma de aço na fase inicial deve ser feita com base na ABNT NBR 14762<sup>7</sup>. [Lembrando que] Deve ser considerado adequadamente o efeito das mossas nas resistências de cálculo.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 212). As mossas são as reentrâncias presentes na fôrma de aço que auxiliam na aderência entre a fôrma e o concreto, já apresentada na figura 2.

A verificação para **estado limite de serviço**, segundo a mesma Norma, ocorre através da análise do deslocamento máximo, sendo descrito que (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, p. 212, 2008):

O deslocamento máximo da fôrma de aço sob seu peso próprio e o peso do concreto fresco (excluindo-se a sobrecarga de construção) não deve exceder  $L_F / 180$  ou 20 mm, o que for menor, onde  $L_F$  é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras. As propriedades geométricas da seção transversal devem ser determinadas de acordo com a ABNT NBR 14762<sup>8</sup>.

Entretanto, este trabalho não aprofunda sua análise na fase inicial do dimensionamento, visto que como Queiroz et alli (2012, p. 50) destacam, “Usualmente, os fabricantes fornecem, sob a forma de tabelas, a capacidade de carga da fôrma para um dado vão ou, o que é mais comum, o vão máximo admissível da fôrma para um dado carregamento.”. Portanto, para o dimensionamento de lajes mistas *steel deck*, considerar-se-ão válidas as tabelas do fabricante METFORM SA, presentes no anexo A deste trabalho.

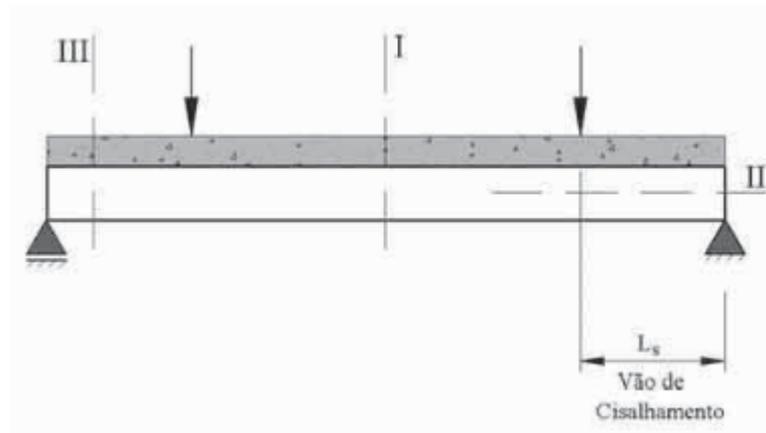
### 4.3.2 Verificação da laje na fase final

O dimensionamento das lajes mistas na fase final envolve a verificação da estrutura quando os dois materiais, o aço e o concreto, trabalham em conjunto para resistir aos esforços aplicados. Nesta condição, considerando somente carregamento distribuído, as lajes mistas apresentam três seções críticas para a ruptura, que são expostas na figura 7.

<sup>7</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

<sup>8</sup> op. cit

Figura 7 – Seções críticas



(fonte: QUEIROZ et alli, 2012, p. 58)

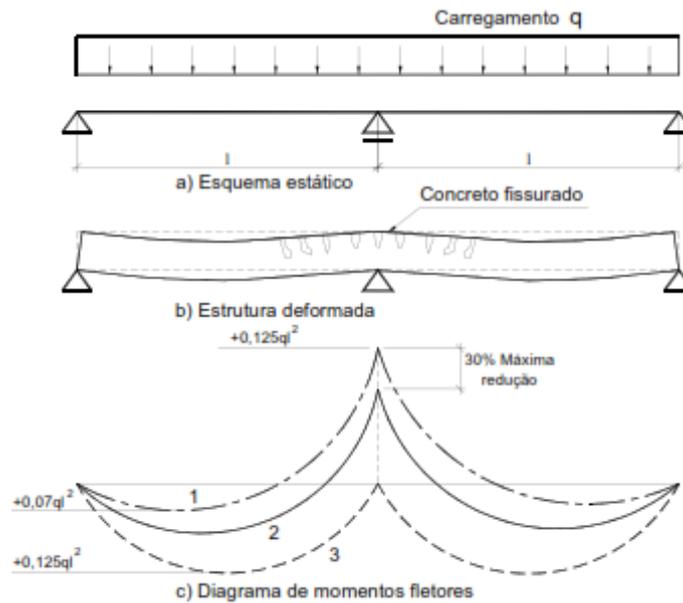
De acordo com a representação gráfica, Queiroz et alli (2012, p. 58) descrevem os possíveis modos de colapso para lajes mistas de aço e concreto e as seções correspondentes:

- a) seção crítica I – Flexão: Resistência ao momento fletor. Esse estado limite pressupõe interação completa entre a fôrma e o concreto e pode ser crítico se o vão de cisalhamento [...] [ $L_s$ ] for suficientemente grande;
- b) seção crítica II – Cisalhamento longitudinal. A carga máxima na 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;
- d) seção crítica III – Cisalhamento vertical. Esse estado limite pode ser crítico somente em casos especiais, por exemplo, em lajes espessas de vão curto, sujeitas a cargas elevadas [...].

Além disso, cabe ressaltar a influência da configuração adotada para lajes mistas. Ou seja, as lajes podem ser consideradas biapoiadas, como na figura 7, ou contínuas, como na figura 8. De acordo com Fabrizzi (2007, p. 193), nos casos em que as lajes forem contínuas, há três possibilidades que podem ser adotadas ao proceder o dimensionamento:

- a) considerando-se inércia constante ao longo da viga, determinando-se os momentos elásticos ([...] [figura 8] - linha 1);
- b) considerando-se uma rigidez inferior (concreto fissurado) nos apoios ou reduzindo-se arbitrariamente o momento fletor negativo nos apoios e, conseqüentemente, aumentando o momento fletor positivo ([...] [figura 8] - linha 2);
- c) tratando a laje mista contínua como uma série de lajes mistas biapoiadas, colocando-se apenas armaduras sobre os apoios intermediários para evitar a fissuração ([...] [figura 8] - linha 3).

Figura 8 – Exemplo de análise de laje contínua



(fonte: FABRIZZI, 2007, p. 193)

Neste trabalho, para o dimensionamento das lajes contínuas, considerou-se a configuração da linha 2 da figura 8. Ou seja, adotou-se uma redução de 30% nos momentos negativos acima dos apoios, e o valor equivalente a essa redução foi acrescido aos momentos positivos nos vãos.

#### 4.3.2.1 Estados limites últimos

Segunda a NBR 8800, “Os estados limites últimos estão relacionados com a segurança da estrutura sujeita às combinações mais desfavoráveis de ações previstas em toda a vida útil, durante a construção ou quando atuar uma ação especial ou excepcional.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 14). Conforme os possíveis modos de colapso, já descritos, essa Norma propõe as verificações apresentadas na sequência para o dimensionamento de lajes mistas *steel deck*.

##### 4.3.2.1.1 Momento fletor

O dimensionamento das lajes mistas *steel deck* ao **momento fletor positivo**, inicia através da determinação da posição da linha neutra. Segundo Fabrizzi (2007, p. 197), “Na maioria dos casos a linha neutra situa-se acima da fôrma de aço, [porém] em fôrmas mais profundas pode acontecer da linha neutra se localizar na fôrma de aço.”.

Conforme a NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 212-213), a posição da linha neutra plástica é identificada através das fórmulas 1 e 2, que indicam os valores de  $N_{cf}$  e  $N_{pa}$ , respectivamente. Pois, de acordo com o que Queiroz et alli (2012, p. 52) observam, se  $N_{cf}$  for maior ou igual a  $N_{pa}$  pode-se afirmar que a LNP está acima da fôrma metálica, conforme a figura 9, caso contrário a LNP está dentro da fôrma metálica, conforme a figura 10. As fórmulas são:

$$N_{cf} = 0,85bt_c f_{cd} \quad (\text{fórmula 1})$$

Onde:

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

$b$  = largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

$t_c$  = altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;

$f_{cd}$  = resistência de cálculo do concreto à compressão.

$$N_{pa} = A_{F,ef} f_{yFd} \quad (\text{fórmula 2})$$

Onde:

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

$A_{F,ef}$  = área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm), determinada desprezando-se a largura das mossas na seção transversal, a menos que se demonstre por meio de ensaios que uma área maior possa ser utilizada;

$f_{yFd}$  = resistência de cálculo ao escoamento do aço da fôrma.

Através do resultado de  $N_{pa}$ , da fórmula 2, pode-se calcular a altura do bloco de compressão do concreto, que corresponde a parte da laje, acima da fôrma de aço, e acima da LNP. A altura é dada pela fórmula 3, sendo representada também na figura 9 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 212):

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 f_{cd} b} \quad (\text{fórmula 3})$$

Onde:

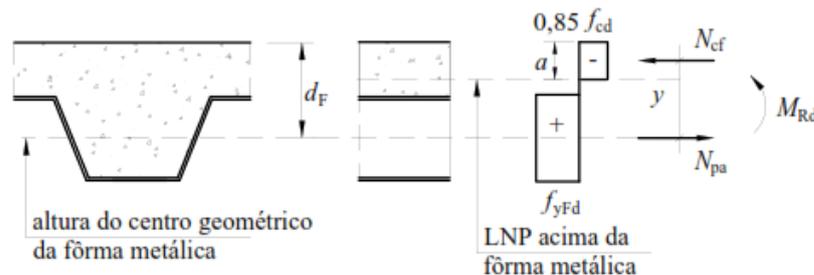
$a$  = altura o bloco de compressão do concreto;

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

$f_{cd}$  = resistência de cálculo do concreto à compressão;

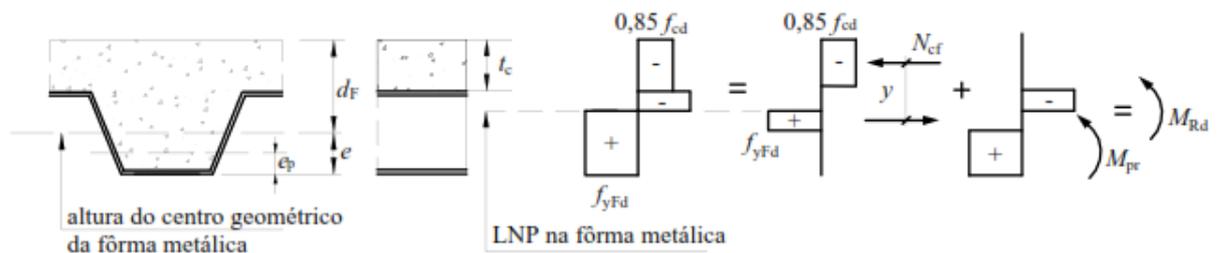
$b$  = largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm.

Figura 9 – Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica acima da fôrma de aço



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 213)

Figura 10 – Diagrama de tensões para momento positivo – Linha neutra plástica na fôrma de aço



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 214)

A verificação do momento fletor positivo resistente, é dada pelas fórmulas 4 e 5, para calcular o momento para seções com LNP acima e abaixo do topo da fôrma de aço, respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 212):

$$M_{Rd} = N_{pa}(d_f - 0,5a) \quad (\text{fórmula 4})$$

Onde:

$M_{Rd}$  = momento fletor;

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

$d_f$  = distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

$a$  = altura o bloco de compressão do concreto.

$$M_{Rd} = N_{cf}y + M_{pr} \quad (\text{fórmula 5})$$

Onde:

$M_{Rd}$  = momento fletor;

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

$y$  = distância entre  $N_{cf}$  e  $N_{pa}$ ;

$M_{pr}$  = momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial.

Sendo que, de acordo com a mesma Norma, as variáveis  $y$  e  $M_{pr}$ , necessárias para o cálculo do momento fletor resistente abaixo da LNP, são dadas pelas fórmulas 6 e 7, respectivamente (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 213):

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

Onde:

$y$  = distância entre  $N_{cf}$  e  $N_{pa}$ ;

$h_t$  = altura total da laje, incluindo a fôrma e o concreto;

$t_c$  = altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço;

$e_p$  = distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior;

$e$  = distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à face inferior;

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

$N_{pa}$  = força de tração na fôrma de aço, considerando interação total ao cisalhamento longitudinal.

$$M_{pr} = 1,25M_{pa} \left( 1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (\text{fórmula 7})$$

Onde:

$M_{pr}$  = momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial;

$M_{pa}$  = momento de plastificação da fôrma de aço, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência  $\gamma_{a1}$ ;

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

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

Segundo a NBR 8800, “O método dos estados limites utilizado para o dimensionamento de uma estrutura exige que nenhum estado limite aplicável seja excedido quando a estrutura for submetida a todas as combinações apropriadas de ações.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 14). Ou seja, para a estrutura ser aprovada, é necessário que o momento fletor positivo calculado (resistente) seja maior que o momento fletor positivo atuante.

A fôrma metálica das lajes mistas *steel deck*, nesta fase, atua como armadura positiva na laje, porém a fôrma pode ser insuficiente para resistir aos esforços, sendo necessária a colocação de armadura adicional no fundo da laje, o que deve ser levado em conta no dimensionamento. Segundo a NBR 8800, “Caso haja armadura adicional para resistir ao momento fletor positivo, as expressões apresentadas [...] [para a determinação do momento fletor resistente] devem ser adequadamente ajustadas.” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 214). Sendo que, se for necessário, essa armadura adicional prevista, tanto para o momento positivo como para o momento negativo, deve respeitar a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 220).

O procedimento com as fórmulas para a determinação do **momento fletor negativo** resistente para o dimensionamento das lajes mistas *steel deck*, não é apresentado na NBR 8800. Os momentos negativos, em lajes mistas, aparecem acima dos apoios em lajes contínuas, conforme já apresentado na figura 8. Nesses casos, diferente do que ocorre para a determinação do momento fletor positivo resistente, em que se considera a contribuição da fôrma como armadura de tração da laje, para os momentos negativos, desconsidera-se a contribuição da mesma (EUROCODE 4 Part 1-1<sup>9</sup>, 2004 apud FABRIZZI, 2007, p. 197).

Isso ocorre, pois com a inversão dos momentos, a seção da laje que é comprimida e tracionada, também inverte. Sendo assim, por simplificação, para o dimensionamento, considera-se somente a contribuição do concreto comprimido e da armadura adicional (para o momento negativo), tracionada, conforme apresentado no diagrama da figura 11. Sendo assim, o momento fletor negativo deve ser calculado através da fórmula 8, cujas variáveis são determinadas através das fórmulas 9 a 11 (EUROCODE 4 Part 1-1<sup>10</sup>, 2004 apud FABRIZZI, 2007, p. 197):

$$M_{Rd,pl} = A_s \times f_{sd} \times z \quad (\text{fórmula 8})$$

$$N_c = 0,85 \times f_{cd} \times b_c \times x = A_s \times f_{sd} \quad (\text{fórmula 9})$$

$$x = \frac{A_s \times f_{sd}}{0,85 \times f_{cd} \times b_c} \quad (\text{fórmula 10})$$

---

<sup>9</sup> EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION. **Eurocode 4**: design of composite steel and concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings. Bruxelas, 2004.

<sup>10</sup> op. cit.

$$z = d_s - \frac{x}{2} \quad (\text{fórmula 11})$$

Onde:

$M_{Rd,pl}$  = momento fletor negativo resistente;

$A_s$  = área de armadura por unidade de comprimento para o momento negativo, determinada de acordo com a tabela do anexo F;

$f_{sd}$  = resistência de cálculo ao escoamento do aço da armadura;

$z$  = distância entre  $N_s$  e  $N_c$ ;

$N_c$  = força de compressão;

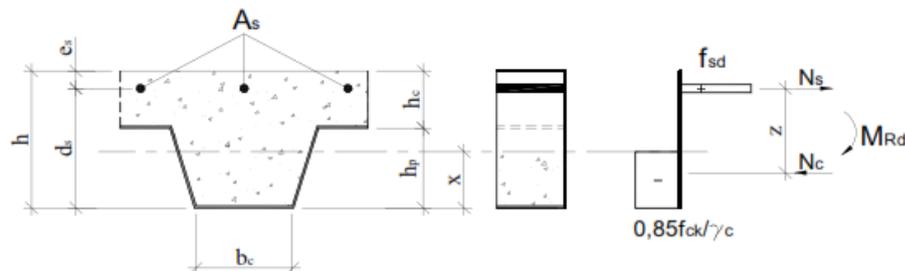
$f_{cd}$  = resistência de cálculo à compressão do concreto;

$b_c$  = largura de concreto comprimida no interior das nervuras;

$x$  = altura da linha neutra plástica;

$d_s$  = altura da posição da armadura negativa.

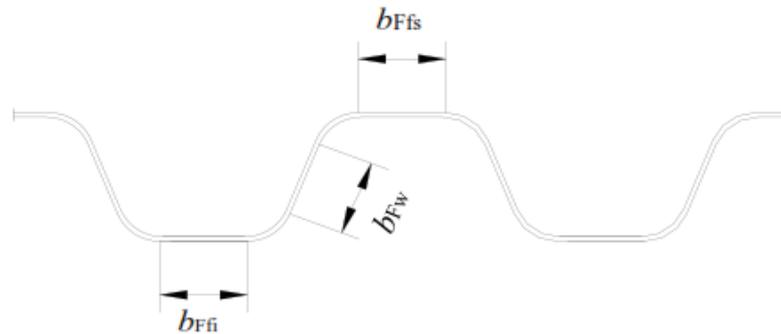
Figura 11 – Diagrama de tensões para momento negativo



(fonte: FABRIZZI, 2007, p. 197)

Além da determinação do momento fletor positivo e negativo resistente, segundo a NBR 8800, “Deve-se assegurar que não haverá flambagem local da fôrma de aço preenchida com concreto. Para tanto, a largura plana de todos os elementos da fôrma ([...] [figura 12]), havendo ou não mossas no elemento considerado, deve atender [as fórmulas 12 e 13] [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 214). Entretanto, cabe ressaltar, que, conforme Fabrizzi (2007, p. 198), esta verificação deve ser feita “[...] sempre que a linha neutra plástica estiver situada na fôrma de aço, ou seja, sempre que a sua resistência à compressão for levada em consideração.”.

Figura 12 – Largura plana dos elementos da fôrma



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 214)

Inicialmente deve-se determinar o valor de  $\alpha$ , que é dado pela relação entre a largura da parte comprimida e a largura plana do elemento, identificada na figura 12. De acordo com resultado dessa relação, calcula-se  $b_F$  aplicando a fórmula 12 para  $\alpha \geq 0,5$ , e a fórmula 13 para  $\alpha < 0,5$ . (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 214):

$$b_F \leq \frac{26,49 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{(13\alpha - 1)} t_F \quad (\text{fórmula 12})$$

$$b_F \leq \frac{2,40 \sqrt{\frac{E}{f_{yF}}}}{\alpha} t_F \quad (\text{fórmula 13})$$

Onde:

$b_f$  = largura plana do elemento;

$E$  = módulo de elasticidade do aço;

$f_{yF}$  = resistência ao escoamento do aço da fôrma;

$t_F$  = espessura da fôrma de aço;

$\alpha$  = relação entre a largura da parte comprimida e a largura plana do elemento.

#### 4.3.2.1.2 Cisalhamento Longitudinal

O cisalhamento longitudinal é crítico para lajes mistas, e como já descrito por Queiroz et alli (2012, p. 58), normalmente corresponde a capacidade máxima dessas lajes. Calixto et alli (2009, p. 134, grifo do autor) destacam que:

A NBR 8800 ([ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS,] 2008) permite dois critérios para avaliação da força cortante longitudinal resistente última em lajes mistas de aço e concreto: método **m-k** e método da interação parcial. O método **m-k** foi desenvolvido e é considerado internacionalmente o método padrão para o cálculo da força cortante longitudinal resistente. Neste método, essa força cortante longitudinal resistente em lajes mistas é dada por uma equação semi-empírica que relaciona a resistência nominal ao esforço cortante com os parâmetros dos ensaios realizados com fôrma de uma mesma espessura. O método da interação parcial surge como alternativa ao método **m-k**, para melhor explorar o comportamento dúctil dos perfis de fôrma de aço disponíveis no mercado, os projetos de mossa mais bem elaborados e a utilização de vãos maiores. Esse método, apesar de mais trabalhoso que o método **m-k**, permite também que se incluam na análise, armaduras adicionais para auxiliar na resistência ao momento positivo, bem como tirar proveito da presença de conectores de cisalhamento nas extremidades dos vãos da fôrma, utilizados pelas vigas mistas suportes da laje.

A determinação da resistência ao cisalhamento pelo método m-k é descrita na NBR 8800, já o método da interação parcial, é aceito pela Norma, porém sua especificação não é apresentada, sendo prescrita somente no Eurocode 4 Part 1-1<sup>11</sup>. Portanto, conforme a Norma brasileira, a determinação da força cortante longitudinal resistente de cálculo, segundo o método m-k, é apresentada na fórmula 14 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 215-216):

$$V_{l,Rd} = \frac{bd_F \left[ \left( \frac{m_{A_F,ef}}{bL_s} \right) + k \right]}{\gamma_{sl}} \quad (\text{fórmula 14})$$

Onde:

$V_{Rd,1}$  = força cortante longitudinal resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço incorporada, em newton, relativa a 1000 mm de largura;

$b$  = largura unitária da laje, tomada igual a 1000 mm;

$d_f$  = é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma [...], expressa em milímetros (mm);

<sup>11</sup> EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION. **Eurocode 4**: design of composite steel and concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings. Bruxelas, 2004.

$m$  e  $k$  = são constantes empíricas, em newton por milímetro quadrado ( $\text{N}/\text{mm}^2$ ), obtidas por meio de ensaios realizados conforme o Eurocode 4 Part 1-1<sup>12</sup> [...], devidamente adaptadas para assegurar o nível de segurança desta Norma [...];

$A_{F,ef}$  = é área da seção efetiva da fôrma (correspondente a 1000 mm);

$L_s$  = vão de cisalhamento, expresso em milímetros [...];

$\gamma_{sl}$  = é o coeficiente de ponderação da resistência, igual ao determinado pela norma ou especificação utilizada nos ensaios;

O valor da variável  $L_s$  (vão de cisalhamento), da fórmula 14, é determinado em função do tipo de carregamento aplicado à laje, sendo diferente para cargas distribuídas e concentradas. Neste trabalho, considerou-se somente carregamentos uniformemente distribuídos, portanto, essa variável deve ser adotada como  $L_F/4$ , sendo que  $L_F$  corresponde ao vão teórico da laje na direção das nervuras (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 215).

Existem alguns trabalhos realizados por pesquisadores brasileiros, de caráter experimental, a fim de avaliar o comportamento dessas lajes. Dentre os trabalhos publicados, Brendolan<sup>13</sup> (2007 apud CALIXTO et alli, 2009) realizou a análise comparativa entre os dois métodos de dimensionamento ao cisalhamento longitudinal, propostos pela NBR 8800. Para isso, foram realizados ensaios com protótipos, em escala natural, de lajes mistas *steel deck*.

Neste trabalho, todos os protótipos dos ensaios tiveram somente um modo de ruptura, o cisalhamento longitudinal. Conforme Calixto et alli (2009, p. 138-139), “Esse modo é caracterizado pela falha da ligação entre as mossas da fôrma de aço e o concreto, fazendo com que o concreto da região do vão de cisalhamento perca sua ação composta com a fôrma de aço.”. Através dos resultados fornecidos nos ensaios, Calixto et alli (2009, p. 141, grifo do autor) concluíram que “[...] o método da interação parcial proporcionou, para a maioria das lajes, valores [para a força cortante longitudinal resistente] ligeiramente superiores aos determinados pelo método **m-k**. A diferença média encontrada foi igual a 4% [...]”. Reforçando a validade da indicação da NBR 8800, que sugere ambos os métodos para a determinação da força cortante resistente, visto que os mesmos foram muito próximos.

<sup>12</sup> EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDISATION. **Eurocode 4**: design of composite steel and concrete structures – Part 1.1: General rules and rules for buildings. Bruxelas, 2004.

<sup>13</sup> BRENDOLAN, G. **Análise do comportamento e da resistência de um sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada**. 2007. 160 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.

#### 4.3.2.1.3 Cisalhamento Vertical

O cisalhamento vertical não é o modo de ruptura mais crítico para este tipo de laje, ocorre somente em casos de grandes espessuras de laje para pequenos vãos. A NBR 8800 determina a força cortante vertical resistente através da fórmula de 15 apresentadas a seguir (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 216-217):

$$V_{v,Rd} = V_{v,F,Rd} + V_{v,c,Rd} \leq V_{max} \quad (\text{fórmula 15})$$

Onde:

$V_{v,Rd}$ , = é a força cortante vertical resistente de cálculo de lajes com fôrma de aço incorporada, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura [...];

$V_{v,F,Rd}$ , = força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço incorporada, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura, determinada conforme a ABNT NBR 14762<sup>14</sup>;

$V_{v,c,Rd}$ , = é a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura [...];

$V_{Max}$  = é um limite da força cortante, expresso em newton (N), relativo a 1000 mm de largura [...].

A força cortante vertical resistente de cálculo do concreto ( $V_{v,c,Rd}$ ), e o limite da força cortante ( $V_{Max}$ ), variáveis da fórmula 15, são expressos nas fórmulas 16 e 21, respectivamente. Sendo que, as variáveis da fórmula 16 são determinadas através das fórmulas 17 a 20, apresentadas na sequência. A identificação das variáveis  $A_v$  e  $b_n$  podem ser conferidas na figura 13, para as duas possibilidades de fôrmas, a trapezoidal e a reentrante.

O valor aplicado para  $k_v$ , variável da fórmula 16, é 1,0, exceto se houver “[...] armadura longitudinal de tração que se estenda a não menos que  $d + l_{b,nec}$ , além da seção considerada [...]” (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 216). Deve-se, nesse caso, calcular esse parâmetro através da fórmula 18, sendo que o resultado deve ser maior ou igual a um.

<sup>14</sup> ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762**: dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio – procedimento. Rio de Janeiro, 2001.

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000\tau_{Rd}k_v(1,2 + 40\rho)A_V}{b_n} \quad (\text{fórmula 16})$$

$$\rho = \frac{A_S}{A_V} \leq 0,02 \quad (\text{fórmula 17})$$

$$k_v = \left(1,6 - \frac{d}{1000}\right) \quad (\text{fórmula 18})$$

$$\tau_{Rd} = 0,25f_{ctd} \quad (\text{fórmula 19})$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta f_{ctk,inf}}{\gamma_c} \quad (\text{fórmula 20})$$

Onde:

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

$l_{b,nec}$  = o comprimento de ancoragem necessário, dado na ABNT NBR 6118 para o concreto de densidade normal [...];

$V_{v,c,Rd}$  = é a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, expressa em newton (N), relativa a 1000 mm de largura [...];

$A_V$  = é a área resistente do concreto (área hachurada da [...] [figura 12]), expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$b_n$  = é a largura entre duas nervuras consecutivas, expressa em milímetros (mm) [...] [figura 12];

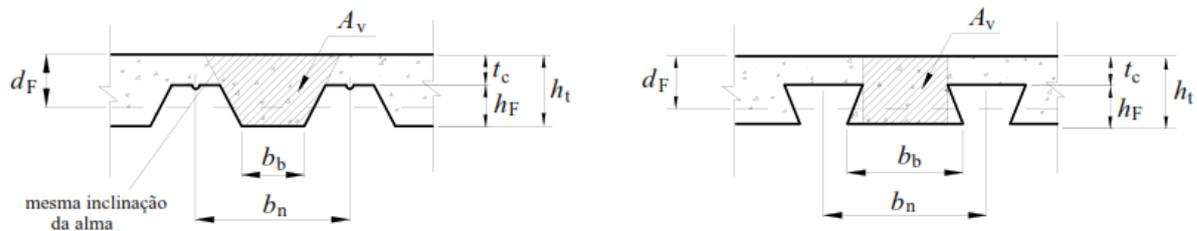
$A_S$  = é a área da armadura longitudinal de tração, referente à área  $A_V$ , expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$\eta = 0,3 + 0,7 (\rho_c/2400)$ , sendo  $\rho_c$  a massa específica do concreto, em quilogramas por metro cúbico, não podendo ser tomado valor superior a 2400 kg/m<sup>3</sup>;

$f_{ctk, inf}$  = é a resistência à tração direta característica inferior do concreto, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007), igual a  $0,21f_{ck}^{2/3}$ , com  $f_{ctk, inf}$  e  $f_{ck}$  expressos em megapascal (MPa);

$\gamma_c$  = coeficiente de ponderação a resistência do concreto, igual a 1,4.

Figura 13 – Dimensões da fôrma de aço e da laje de concreto



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 215)

O limite da força cortante, expresso em newton (N), relativo a 1000 mm de largura, é dado por:

$$V_{max} = \frac{1000 \times 0,285(f_{ck})^{1/2} A_v}{b_n} \quad (\text{fórmula 21})$$

Onde:

$V_{Max}$  = é um limite da força cortante, expresso em newton (N), relativo a 1000 mm de largura [...];

$f_{ck}$  = resistência característica à compressão do concreto;

$A_v$  = é a área resistente do concreto (área hachurada da [...] [figura 13]), expressa em milímetros quadrados (mm<sup>2</sup>);

$b_n$  = é a largura entre duas nervuras consecutivas, expressa em milímetros (mm) [...] [figura 13].

#### 4.3.2.2 Estados limites serviço

##### 4.3.2.2.1 Fissuração do concreto

A fissuração do concreto devido à retração e em regiões de continuidade das lajes, onde há momento negativo, é citada pela NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219):

O estado-limite de fissuração do concreto em regiões de momento negativo de lajes contínuas deve ser verificado de acordo com a ABNT NBR 6118 para o concreto de densidade normal [...]. Para lajes calculadas como simplesmente apoiadas, deve-se colocar armadura para combater os efeitos de retração e temperatura com área não menor que 0,1 % da área de concreto acima da face superior da fôrma. Essa armadura deve ser colocada preferencialmente a 20 mm abaixo do topo da laje. Atenção especial deve ser dada à possibilidade de fissuração da laje nos locais onde possa haver tendência de continuidade dos elementos estruturais [...].

O fabricante METFORM SA, estabelece, através de tabelas a armadura de retração necessária em telas soldadas, de acordo com a especificação da fôrma utilizada e da espessura da laje adotada. Essas tabelas são apresentadas no anexo C.

A armadura sobre as vigas, devido à continuidade, também é especificada pelo fabricante. De acordo com a METFORM SA (2006, p. 50), “Esta armadura adicional deverá ser executada em barras redondas, colocadas na região das ligações entre as vigas secundárias e principais, com cobrimento de cerca de 20 mm.”. As fórmulas 22 e 23 determinam as áreas de aço necessárias, sendo a primeira para vigas secundárias e a segunda para vigas primárias:

$$A_{S_1} = 0,5\% \times \left( \frac{L_{sm}}{8} \times h_c \right) \quad (\text{fórmula 22})$$

$$A_{S_2} = 0,6\% \times \left( \frac{L_{pm}}{8} \times h_c \right) \quad (\text{fórmula 23})$$

Onde:

$A_{S_1}$  = área de armadura acima de vigas secundárias, em cm<sup>2</sup>;

$L_{sm}$  = vão médio das vigas secundárias, onde  $L_{sm} = (L_{S1} + L_{S2})/2$ ;

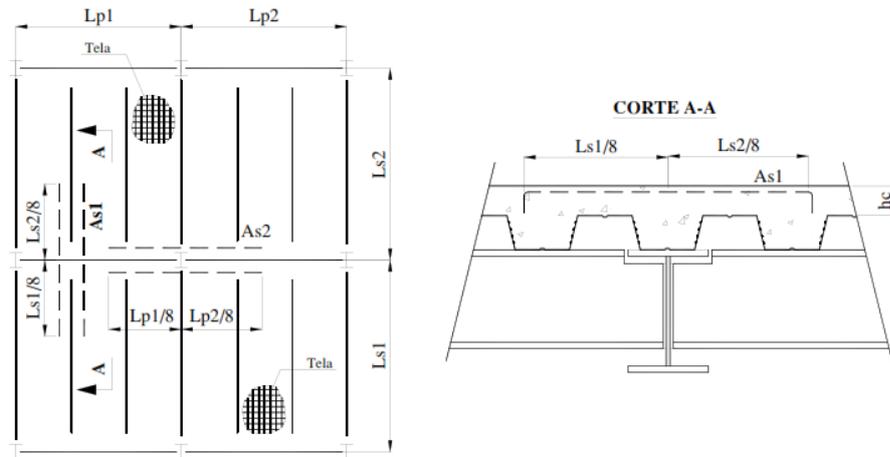
$h_c$  = altura de concreto acima do *steel deck* [...];

$A_{S_2}$  = área de armadura acima de vigas primárias, em cm<sup>2</sup>;

$L_{pm}$  = vão médio das vigas primárias, onde  $L_{pm} = (L_{P1} + L_{P2})/2$ .

Segundo o fabricante, também é aconselhável que a especificação da armadura utilizada seja em barras de diâmetro de 12,5 mm, adotando um comprimento de 1/8 do vão considerado entre as vigas, conforme a figura 14 (METFORM SA, 2006, p. 50).

Figura 14 – Detalhamento de armaduras adicionais sobre vigas



(fonte: METFORM SA, 2006, p. 50)

#### 4.3.2.2.2 Deslocamento vertical

A NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 219) estabelece que deslocamento vertical, em lajes mistas, pode ser no máximo  $L_F / 350$ , onde  $L_F$  refere-se ao vão teórico da laje paralelo as nervuras da chapa. Portanto, para verificar se a flecha prevista atende a Norma, aproximou-se o cálculo flecha em lajes mistas *steel deck*, ao cálculo da flecha máxima em uma viga biapoiada, que, conforme Beer e Johnston Jr. (1995, p. 826), é determinada de acordo com a fórmula 24:

$$f = 5 \times \frac{p \times l^4}{384 \times EI} \quad (\text{fórmula 24})$$

Onde:

f = flecha máxima;

p = carga distribuída total;

l = comprimento da laje de apoio a apoio;

E = módulo de elasticidade do concreto;

I = momento de inércia da laje mista [dado de acordo com as tabelas do anexo B].

## 5 CONSIDERAÇÕES DE PROJETO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

Neste capítulo são apresentadas as considerações de projeto necessárias para o dimensionamento de lajes maciças de concreto armado, conforme as prescrições presentes na NBR 6118. Inicialmente são descritas as disposições construtivas, após as ações que devem ser consideradas, a determinação das solicitações para o cálculo das armaduras, além do dimensionamento da espessura.

### 5.1 DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS

Conforme a NBR 6118, para o dimensionamento de lajes maciças, há limitações mínimas quanto às espessuras das lajes. Como o dimensionamento inicia-se através de um processo iterativo, arbitrando-se inicialmente uma espessura, deve-se ter conhecimento desses valores mínimos, sendo assim, conforme a Norma (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 67) deve-se utilizar no mínimo:

- a) 5 cm para lajes de cobertura não em balanço;
- b) 7 cm para lajes de piso ou de cobertura em balanço;
- c) 10 cm para lajes que suportem veículos de peso total menor ou igual a 30 kN;
- d) 12 cm para lajes que suportem veículos de peso total maior que 30 kN [...].

Entretanto, mesmo a Norma possibilitando a utilização de espessuras mínimas menores que 8 cm, segundo Campos Filho (2011, p. 7), não é aconselhável essa utilização, uma vez que, há a possibilidade do aparecimento de fissuras, principalmente, devido a existência de instalações embutidas na laje. Sendo assim, neste trabalho, para o dimensionamento de lajes maciças, adotou-se, somente, espessuras a partir de 8 cm.

## 5.2 AÇÕES A SEREM CONSIDERADAS PARA O DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

As ações que devem ser consideradas no dimensionamento de lajes maciças correspondem a todas as ações atuantes na estrutura. Ou seja, deve-se determinar todas as ações permanentes devido a peso próprio e revestimentos, além das ações variáveis devido a utilização e ocupação, assim como na fase final de lajes mistas *steel deck*.

Sendo assim, segundo Campos Filho (2011, p. 6), normalmente, os valores adotados para as ações permanentes, em edifícios residenciais, são:

- a) peso específico do concreto armado = 25 kN/m<sup>3</sup>;
- b) reboco (1cm) = 0,2 kN/m<sup>2</sup>;
- c) revestimento de tacos ou tabuões de madeira = 0,7 kN/m<sup>2</sup>;
- d) revestimento de material cerâmico = 0,85 kN/m<sup>2</sup>;
- e) forro falso = 0,5 kN/m<sup>2</sup>.

Para as ações variáveis, os valores adotados, de acordo com os ambientes do pavimento são:

- a) em salas, dormitórios, cozinhas, banheiros = 1,5 kN/m;
- b) em despensa, lavanderia, área de serviço = 2,0 kN/m;
- c) em corredores, escadas em edifícios residenciais = 3,0 kN/m.

Com os dados das ações definidos, pode-se calcular os carregamentos. Se for para determinar as solicitações do momento fletor, no estado limite último, e poder definir as áreas de armaduras, deve-se calcular o carregamento através das combinações últimas normais. Contudo, se o objetivo for definir o carregamento para calcular a flecha da laje, no estado limite de serviço, é necessário determinar os carregamentos para as combinações quase permanentes de serviço (CAMPOS FILHO, 2011, p. 7).

### 5.3 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

O dimensionamento inicia-se através da discretização do pavimento ao qual se está trabalhando, determinando as vinculações nas bordas das lajes, sendo essas vinculações determinantes para o desenvolvimento dos cálculos. Como neste trabalho, não considerou-se lajes com bordas livres, as vinculações possíveis são, segundo Campos Filho (2011, p. 2, grifo do autor):

- a) **apoiada**: quando a borda da laje é continuamente suportada por vigas, paredes de alvenaria de tijolos cerâmicos, de blocos de concreto ou de pedras;
- b) **engastada**: quando a borda da laje tem continuidade além do apoio correspondente daquele lado (laje adjacente).

Além das descrições apresentadas para os diferentes casos de vinculação, deve-se ter atenção a alguns casos particulares, como em lajes adjacentes com espessuras que diferem em mais de 2 cm, nesses casos não considera-se essa borda engastada, e sim, apoiada. Essa mesma vinculação é adotada em casos de lajes adjacentes a lajes rebaixadas, exceto em casos de lajes em balanço. Há ainda a situação de quando a borda de uma laje for adjacente a dois tipos de vinculação, apoiada e engastada, sendo assim, considera-se engastada, se o comprimento do bordo engastado for superior a 85%, caso contrário, adota-se o lado como apoiado (CAMPOS FILHO, 2011, p. 3).

Além disso, é necessário determinar o vão efetivo das lajes ( $l_{ef}$ ). Esse vão normalmente é considerado como a distância entre os eixos dos apoios, porém, conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 84), “Quando os apoios puderem ser considerados suficientemente rígidos quanto à translação vertical, o vão efetivo deve ser calculado [pela fórmula 25] [...]”. A figura 15 indica as variáveis relativas à fórmula 25:

$$l_{ef} = l_0 + a_1 + a_2 \quad (\text{fórmula 25})$$

Onde:

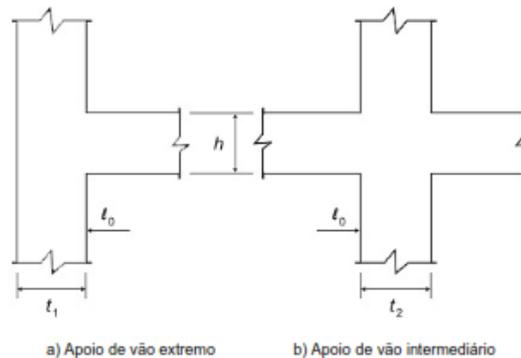
$l_{ef}$  = vão efetivo da laje;

$l_0$  = é a distância entre as faces internas dos apoios;

$a_1$  = menor valor entre  $t_1/2$  e  $0,3h$ ;

$a_2$  = menor valor entre  $t_2/2$  e  $0,3h$ .

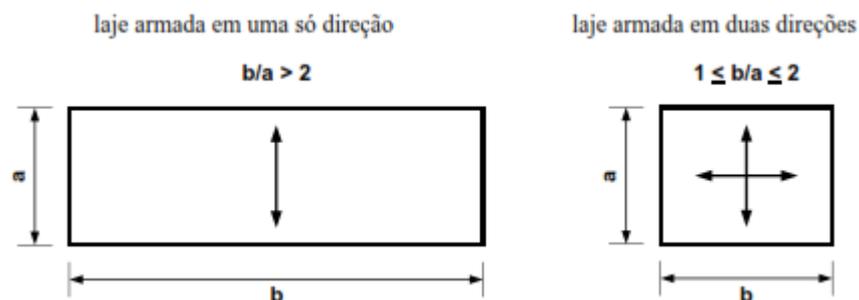
Figura 15 – Vão efetivo



(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 80)

Com a determinação dos valores de vão efetivo, é possível classificar a laje maciça como armada em uma ou duas direções. Segundo Carvalho e Figueiredo Filho (2007, p. 292), se a razão entre o maior e o menor vão efetivo da laje for maior que dois, a laje é armada em apenas uma direção, caso contrário, considera-se, armada nas duas direções. A figura 16 expressa a descrição acima, onde  $a$  é o menor vão da laje e  $b$  é o maior.

Figura 16 – Lajes armadas em uma e duas direções



(fonte: CAMPOS FILHO, 2011, p. 1)

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 142), estabelece que para o dimensionamento de lajes maciças, devem ser analisados os estados limites últimos e estados limites de serviço. Segundo Campos Filho (2011, p. 11), a verificação das lajes maciças, para os estados limites últimos, realizada considerando o concreto um material rígido plástico, e para os estados limites de serviço, adotando o concreto

como um material elástico, é uma estimativa válida. Sendo assim, os itens a seguir apresentam as verificações necessárias para o dimensionamento conforme estas estimativas.

### 5.3.1 Estados limites últimos

Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2011, p. 85), “Para a consideração do estado limite último, a análise de esforços pode ser realizada através da teoria das charneiras plásticas.”. Nesta teoria, admite-se o concreto armado em regime rígido-plástico, o que é válido ao estimar o desempenho das lajes à ruptura (CAMPOS FILHO, 2011, p. 11).

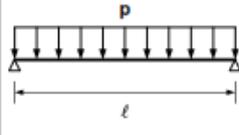
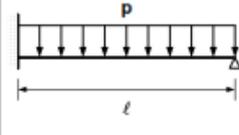
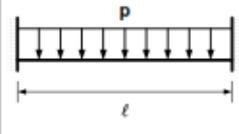
Nos estados limites últimos avaliou-se somente o momento fletor, uma vez que, segundo Campos Filho (2011, p. 11), “Em lajes de estruturas de edifícios correntes, as cargas atuantes são relativamente baixas e não é necessária a verificação das tensões devidas às forças cortantes e nem o dimensionamento de armadura transversal.”. Sendo assim, nos próximos itens são apresentadas, de acordo com a classificação da laje (armada em uma ou duas direções), as fórmulas para a determinação dos momentos.

A NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 86), estabelece que ao dimensionar lajes adjacentes de forma isolada, pode-se compatibilizar o resultado dos momentos negativos para uma borda comum de forma simplificada, adotando o maior valor de momento encontrado. Sendo assim, posteriormente, torna-se possível determinar uma única armadura a ser utilizada em uma mesma borda que se considerou engastada.

#### 5.3.1.1 Lajes armadas em uma direção

O dimensionamento de lajes armadas em uma direção é realizado, considerando-se válida a aproximação de que essas lajes são como vigas biapoiadas no menor vão. As fórmulas para a determinação dos momentos, para lajes com carregamento distribuído, considerando o regime rígido-plástico do concreto, são apresentadas no quadro 2. Sendo que, as variáveis  $m_v$  correspondem ao momento no vão,  $p$ , ao carregamento distribuído,  $l$ , ao menor vão da laje, e  $m_E$ , ao momento no engaste (CAMPOS FILHO, 2011, p. 14).

Quadro 2 – Fórmulas para o cálculo do momento fletor em lajes armadas em uma direção no regime rígido plástico

vinculação	regime rígido-plástico
	$m_v = p\ell^2/8$ $r = p\ell/2$
	$m_E = -p\ell^2/8,88$ $m_v = p\ell^2/13,32$ $r_E = p\ell/2 +  M_E /\ell$ $r_A = p\ell/2 -  M_E /\ell$
	$m_E = -3p\ell^2/40$ $m_v = p\ell^2/20$ $r = p\ell/2$

(fonte: adaptado de CAMPOS FILHO, 2011, p. 14)

### 5.3.1.2 Lajes armadas em duas direções

O dimensionamento das lajes armadas em duas direções atende ao método das linhas de ruptura. Este método, conforme Carvalho e Figueiredo Filho (2007, p. 293), “[...] é desenvolvido com base no mecanismo de ruptura da laje, ou seja, procura identificar de que forma a laje chega ao colapso, e para esta situação são calculados os esforços por meio da teoria das charneiras plásticas.”. Sendo assim, de acordo com Campos Filho (2011, p. 25) para uma laje, como a da figura 17, engastada em todas as bordas, surgem momentos negativos nesses engastes, que são determinados de acordo com a fórmula 26:

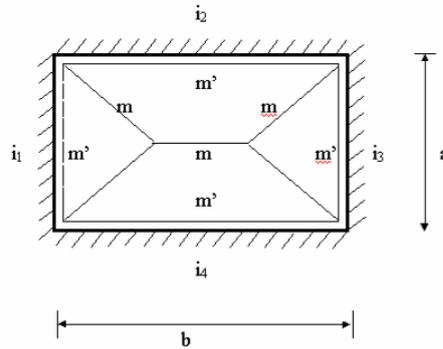
$$m' = -i m \quad (\text{fórmula 26})$$

Onde:

$m'$  = momento fletor negativo no engaste;

$i$  = grau de engastamento;

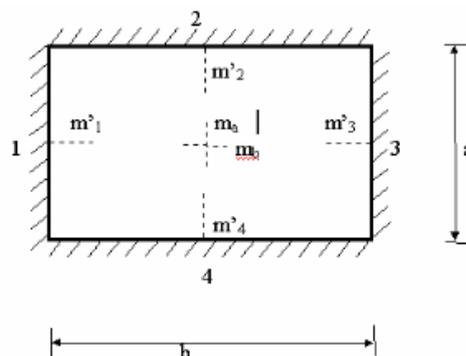
$m$  = momento do vão.

Figura 17 – Momento fletor negativo no engaste ( $m'$ )

(fonte: CAMPOS FILHO, 2011, p. 25)

O valor do grau de engastamento, variável da fórmula 26, determina-se fazendo a nomeação das bordas da laje (de 1 a 4) iniciando pelo lado menor, como apresentado na figura 18. Com as bordas definidas, adota-se, para todas as bordas engastadas da laje, o grau de engastamento igual a 1,5, entretanto, para as bordas apoiadas, atribui-se, grau de engastamento igual a zero (CAMPOS FILHO, 2011, p. 27). Isso ocorre, pois, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 85), “Na falta de melhores dados experimentais, [adota-se], para lajes retangulares, razão mínima de 1,5:1 entre momentos de borda (com continuidade e apoio indeslocável) e momentos no vão.”.

Além do grau de engastamento, deve-se determinar o valor de  $m_a$  e  $m_b$ , que são os momentos para a cálculo da armadura necessária paralela ao vão  $a$  (menor vão) e vão  $b$  (maior vão). Somente após, com estes dados, calcula-se os valores dos momentos negativos nos engastes, para as quatro bordas ( $m_1'$ ,  $m_2'$ ,  $m_3'$  e  $m_4'$ ), correspondentes ao exemplo da figura 18. Portanto, nos próximos itens, é apresentada a formulação para a determinação destes valores (CAMPOS FILHO, 2011, p. 27).

Figura 18 – Momento fletor positivo  $m_a$  e  $m_b$ 

(fonte: CAMPOS FILHO, 2011, p. 27)

### 5.3.1.2.1 Lajes isótropas

Conforme Campos Filho (2011, p. 27-28), lajes isótropas são aquelas em que a razão entre o menor e o maior vão resulta em um valor no intervalo entre 0,8 e 1. Nesses casos considera-se que o momento fletor para os dois vãos são iguais ( $m_a=m_b=m$ ) levando conseqüentemente a uma mesma área de aço necessária ( $A_{s_a}= A_{s_b}$ ). Sendo assim, a fórmula 27 apresenta a determinação do momento fletor, e as fórmulas 28 e 29 o cálculo das variáveis  $a_r$  e  $b_r$ :

$$m = \frac{p a_r b_r}{8 \left(1 + \frac{a_r}{b_r} + \frac{b_r}{a_r}\right)} \quad (\text{fórmula 27})$$

$$a_r = \frac{2a}{\sqrt{1 + i_2} + \sqrt{1 + i_4}} \quad (\text{fórmula 28})$$

$$b_r = \frac{2b}{\sqrt{1 + i_1} + \sqrt{1 + i_3}} \quad (\text{fórmula 29})$$

Onde:

$m$  = momento fletor;

$p$  = carga superficial;

$a_r$  = vão reduzido

$b_r$  = vão reduzido

$a$  = menor vão;

$b$  = maior vão;

$i_1, i_2, i_3, i_4$  = grau de engastamento.

### 5.3.1.2.2 Lajes ortótropas

Conforme Campos Filho (2011, p. 28), lajes ortótropas são aquelas em que a razão entre o menor e o maior vão resulta em um valor no intervalo de 0,5 até valores menores que 0,8.

Nesses casos considera-se que o momento fletor é diferente para os vãos  $a$  e  $b$ , o que consequentemente leva as áreas de aço necessárias também diferentes. O coeficiente de ortotropia é definido como a razão entre  $m_a$  e  $m_b$ , porém pode ser definido de acordo com a fórmula 30. O cálculo do valor do momento é determinado através da fórmula 32, sendo as variáveis  $a_r$  e  $b_r$  determinadas pelas mesmas equações apresentadas anteriormente, 28 e 29, entretanto no cálculo do momento faz-se um ajuste no valor do vão  $b_r$ , através na equação 31. Por fim, considera-se o valor do  $m_a$  igual a  $m$  ( $m_a=m$ ) e o valor de  $m_b$ , multiplica-se  $m$  pelo coeficiente de ortotropia, definido na fórmula 30 ( $m_b=\varphi m$ ).

$$\varphi = \frac{12 - i_2 - i_4}{12 - i_1 - i_3} \left(\frac{a}{b}\right)^{1,7} \quad (\text{fórmula 30})$$

$$b_r^* = \frac{b_r}{\sqrt{\varphi}} \quad (\text{fórmula 31})$$

$$m = \frac{p a_r b_r^*}{8 \left(1 + \frac{a_r}{b_r^*} + \frac{b_r^*}{a_r}\right)} \quad (\text{fórmula 32})$$

Onde:

$\varphi$  = coeficiente de ortotropia;

$a$  = menor vão;

$b$  = maior vão;

$b_r^*$  = razão do vão  $b$  pela raiz do coeficiente de ortotropia;

$b_r$  = vão reduzido;

$m$  = momento fletor;

$p$  = carga superficial;

$a_r$  = vão reduzido;

$i_1, i_2, i_3, i_4$  = grau de engastamento.

### 5.3.2 Estados limites de serviço

Nos estados limites de serviço, são avaliados os estados limites de deformação, em que se analisa a flecha máxima para as lajes maciças, que está diretamente ligada a determinação da espessura das lajes. Assim como, faz-se a verificação se as armaduras calculadas atendem as armaduras mínimas determinadas pela norma.

#### 5.3.2.1 Estados limite de deformação

A verificação para este estado limite, segundo a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 69), é o deslocamento limite, sendo que a Norma estabelece quatro grupos para os tipos de efeitos: aceitabilidade sensorial, efeitos específicos, efeitos em elementos não estruturais e efeitos em elementos estruturais. Segundo Campos Filho (2011, p. 7, grifo nosso), “As lajes devem ter uma **espessura** tal que atendam a verificação do estado limite de deformações excessivas.”. Para a determinação da espessura da laje, considera-se o efeito de aceitabilidade sensorial, sendo a razão da limitação visual. Conforme a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 70), o valor estabelecido para o deslocamento limite do efeito indicado é  $1/250$ , considerando  $l$  como o menor vão da laje.

Através da determinação dos vãos e a classificação, como armada em uma ou duas direções, pode-se iniciar o processo de determinação da espessura da laje. Sendo assim, inicialmente arbitra-se uma espessura mínima para laje, conforme descrito no item 5.1, calcula-se o carregamento aplicado, correspondente as cargas permanentes e variáveis, conforme descrito no item 5.2 (CAMPOS FILHO, 2011, p. 7).

O procedimento proposto por Campos Filho (2011, p. 7-8), recomenda que se determine o momento de inércia da seção, conforme as fórmulas 33 e 34, já que não é possível determinar a rigidez, pois a armadura da laje ainda vai ser dimensionada e, portanto ainda não é conhecida:

$$m_a \leq m_r \rightarrow I_{eq} = I_c \quad (\text{fórmula 33})$$

$$m_a > m_r \rightarrow I_{eq} = 0,30I_c \quad (\text{fórmula 34})$$

Onde:

$m_a$  = momento na seção crítica, momento máximo no vão para lajes biapoiadas ou contínuas, para a combinação quase permanente de serviço;

$m_r$  = momento de fissuração da laje, calculado conforme a fórmula 37;

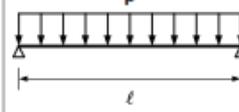
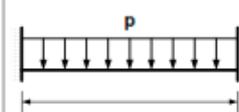
$I_{eq}$  = momento de inércia da seção;

$I_c$  = momento de inércia da seção bruta de concreto.

A determinação do momento na seção crítica, correspondente ao vão das lajes, difere para lajes armadas em uma ou em duas direções. Segundo Campos Filho (2011, p. 11, 25), para as verificações de estados limites de serviço, é adequado considerar o concreto armado como um material elástico. Sendo assim, para o cálculo do  $m_a$  em lajes:

- armadas em uma direção**, utiliza-se as fórmulas para o momento no vão ( $m_v$ ) apresentadas no quadro 3;
- armadas em duas direções**, utiliza-se a fórmula 35, sendo que para a determinação dos valores da variável  $\alpha$ , adota-se os dados para  $m_a$  da tabela presente no anexo D.

Quadro 3 – Fórmulas para o cálculo do momento fletor nas lajes armadas em uma direção no regime elástico

vinculação	regime elástico
	$m_v = p\ell^2/8$ $r = p\ell/2$
	$m_E = -p\ell^2/8$ $m_v = 9p\ell^2/128$ $r_E = p\ell/2 +  M_E /\ell$ $r_A = p\ell/2 -  M_E /\ell$
	$m_E = -p\ell^2/12$ $m_v = p\ell^2/24$ $r = p\ell/2$

(fonte: adaptado de CAMPOS FILHO, 2011, p. 14)

$$m = \alpha pl^2 \quad (\text{fórmula 35})$$

Onde:

$m$  = momento fletor;

$\alpha$  = coeficiente alfa, dado pela tabela presente no anexo D;

$p$  = carga superficial atuante na laje;

$l$  = menor vão da laje.

Após a determinação do momento na seção crítica, calcula-se o momento de fissuração conforme a fórmula 37, cuja variável  $f_{ctm}$  é determinada de acordo com a fórmula 36. Depois, determina-se a flecha imediata, através das fórmulas 38 e 39, sendo a variável  $\kappa$ , da fórmula 39, determinada de acordo com as tabelas do anexo E (CAMPOS FILHO, 2011, p. 8).

$$f_{ctm} = 0,3f_{ck}^{2/3} \quad (\text{fórmula 36})$$

$$m_r = 0,25f_{ctm}bh^2 \quad (\text{fórmula 37})$$

Onde:

$f_{ctm}$  = resistência média à tração do concreto;

$f_{ck}$  = resistência característica do concreto em MPa;

$m_r$  = momento de fissuração da laje;

$b$  = 100 cm;

$h$  = espessura da laje.

$$E_{cs} = 0,85 \times 5600f_{ck}^{1/2} \quad (\text{fórmula 38})$$

$$f(t = 0) = \kappa \frac{p_{d,ser} l^4}{E_{cs} I_{eq}} 0,3 f_{ck}^{2/3} \quad (\text{fórmula 39})$$

Onde:

$E_{cs}$  = módulo de elasticidade secante do concreto;

$f(t=0)$  = flecha imediata;

$\kappa$  = coeficiente que depende da vinculação e da relação entre os vãos da laje, determinado de acordo com as tabelas do anexo E;

$p_{d,ser}$  = carga superficial de serviço, para combinações frequentes, atuante na laje;

$l$  = é o menor vão da laje;

$I_{eq}$  = momento de inércia da seção.

Em seguida, de acordo com Campos Filho (2011, p. 10) determina-se a flecha de longa duração “[...] levando em conta as deformações por fluência do concreto [através da fórmula 40] [...]. Considerando, que as lajes não têm armadura de compressão e, a favor da segurança, tomando-se  $t = \infty$  e  $t_0 = 1$  mês [...]”, calcula-se, através da fórmula 41, o valor da variável  $\alpha_f$ . Adotou-se, portanto, para o coeficiente  $\xi$ , o valor igual a dois, para o tempo infinito, e 0,68, para o tempo igual a um mês, conforme apresentado na NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113) na tabela 1. As fórmulas são:

$$f(t = \infty) = (1 + \alpha_f) f(t = 0) \quad (\text{fórmula 40})$$

$$\alpha_f = \Delta \xi = \xi(t = \infty) - \xi(t_0 = 1 \text{ mês}) \quad (\text{fórmula 41})$$

Onde:

$f(t=\infty)$  = flecha de longa duração;

$\alpha_f$  = fator dado pela diferença do coeficiente  $\xi$ , que resulta no valor  $(2-0,68) = 1,32$ .

Tabela 1 – Valores do coeficiente  $\xi$  em função do tempo

Tempo ( $t$ ) meses	0	0,5	1	2	3	4	5	10	20	40	$\geq 70$
Coeficiente $\xi(t)$	0	0,54	0,68	0,84	0,95	1,04	1,12	1,36	1,64	1,89	2

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 113)

Por fim, faz-se a comparação da flecha de longa duração com o valor da flecha admissível, determinada inicialmente como  $l/250$ . Caso a flecha admissível seja inferior ao resultado da flecha de longa duração, repete-se o processo aumentando a espessura da laje em 1 cm, até que o valor da flecha admissível seja superior ao da flecha de longa duração. Este último valor deve ser adotado com a espessura da laje para o dimensionamento (CAMPOS FILHO, 2011, p. 10).

### 5.3.2.2 Armadura longitudinal mínima

A área de armadura calculada deve respeitar as áreas mínimas estabelecidas pela NBR 8800. Entretanto antes de apresentar o que a Norma estabelece para as armaduras mínimas, a seguir é descrito o **procedimento para o dimensionamento das áreas de armadura**.

O dimensionamento das armaduras na laje, conforme Campos Filho (2011, p. 12, 30), é determinado, considerando-se uma seção retangular de largura  $b$  igual a 100 cm, com a altura útil ( $d$ ) em função de:

- a) **armadas em uma direção**, dada de acordo com a fórmula 42;
- b) **armadas em duas direções**,
  - laje isótropa, para ambos os vãos, é dada de acordo com a fórmula 42;
  - laje ortótropa, para o vão menor, é dada de acordo com a fórmula 42, porém para o vão maior é dada de acordo com a fórmula 43.

$$d = h - c - 0,5 \quad (\text{fórmula 42})$$

$$d = h - c - 1 \quad (\text{fórmula 43})$$

Onde:

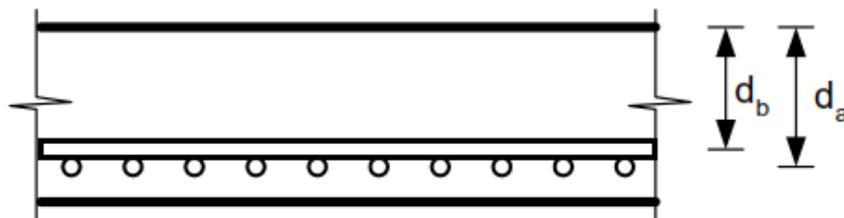
$d$  = altura útil em cm;

$h$  = altura da laje em cm;

$c$  = cobrimento em cm.

Essa variação da altura útil de 0,5 cm em lajes ortótropas ocorre, segundo Campos Filho (2011, p. 30), pois “Neste cálculo admite-se que  $d_a$  difere de  $d_b$  de um  $\varnothing$  [...]. [Diferente do que ocorre] Nas lajes isótropas, [pois] usa-se um  $d$  único para se ter  $As_a = As_b$ .”. Essa diferença na altura útil é exposta na figura 19. Além disso, o cobrimento deve ser determinado de acordo com a classe de agressividade ambiental ao qual a laje está exposta, que é dado através da tabela 2.

Figura 19 – Altura útil  $d_a$  e  $d_b$



(fonte: CAMPOS FILHO, 2011, p. 30)

Tabela 2 – Correspondência entre classe de agressividade ambiental e cobrimento nominal para  $\Delta c = 10$  mm

Tipo de estrutura	Componente ou elemento	Classe de agressividade ambiental (tabela 6.1)			
		I	II	III	IV <sup>3)</sup>
		Cobrimento nominal mm			
Concreto armado	Laje <sup>2)</sup>	20	25	35	45
	Viga/Pilar	25	30	40	50
Concreto protendido <sup>1)</sup>	Todos	30	35	45	55

<sup>1)</sup> Cobrimento nominal da armadura passiva que envolve a bainha ou os fios, cabos e cordoalhas, sempre superior ao especificado para o elemento de concreto armado, devido aos riscos de corrosão fragilizante sob tensão.

<sup>2)</sup> Para a face superior de lajes e vigas que serão revestidas com argamassa de contrapiso, com revestimentos finais secos tipo carpete e madeira, com argamassa de revestimento e acabamento tais como pisos de elevado desempenho, pisos cerâmicos, pisos asfálticos e outros tantos, as exigências desta tabela podem ser substituídas por 7.4.7.5, respeitado um cobrimento nominal  $\geq 15$  mm.

<sup>3)</sup> Nas faces inferiores de lajes e vigas de reservatórios, estações de tratamento de água e esgoto, condutos de esgoto, canaletas de efluentes e outras obras em ambientes química e intensamente agressivos, a armadura deve ter cobrimento nominal  $\geq 45$  mm.

(fonte: ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 19)

Conforme Campos Filho (2011, p. 12), através da fórmula 44, determina-se a área de aço necessária à flexão simples, conforme as solicitações. Os valores dos momentos positivos e negativos, calculado de acordo com os itens 5.3.1.1 e 5.3.1.2, entram na variável  $m_d$  da fórmula 44, para determinar a valor de  $x$ , que é variável da fórmula 45:

$$x = 1,25d \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{m_d}{0,425f_{cd}bd^2}} \right) \quad (\text{fórmula 44})$$

$$A_s = \frac{0,68f_{cd}bx}{f_{yd}} \quad (\text{fórmula 45})$$

Onde:

$d$  = altura útil;

$m_d$  = momento fletor solicitante;

$f_{cd}$  = resistência de cálculo à compressão do concreto;

$b$  = 100 cm;

$A_s$  = área de armadura em  $\text{cm}^2/\text{m}$ ;

$f_{yd}$  = resistência de cálculo ao escoamento do aço.

Com os valores das áreas de aço calculados, deve-se fazer a verificação se as áreas determinadas são superiores as áreas mínimas de armadura, que são calculadas conforme o quadro 4 e a tabela 3. Se as áreas forem menores que as mínimas, adota-se a armadura mínima. Segundo Campos Filho (2011, p. 12), “A taxa de armadura é calculada por  $\rho_s = A_s / (bh)$  e  $\rho_{\min}$  deve corresponder a uma taxa mecânica de armadura mínima  $\omega_{\min} = \rho_{\min} f_{yd} / f_{cd} = 0,035$ , não podendo ser inferior a 0,150%.”.

Quadro 4 – Valores mínimos para armaduras em lajes de concreto armado

Armadura	Armaduras negativas	Armaduras positivas de lajes armadas nas duas direções	Armadura positiva (principal) de lajes armadas em uma direção	Armadura de distribuição nas lajes armadas em uma direção
Valores mínimos para armaduras	$\rho_s \geq \rho_{\min}$	$\rho_s \geq 0,67\rho_{\min}$	$\rho_s \geq \rho_{\min}$	$A_s/s \geq 20\%$ da armadura principal $\rho_s \geq 0,5 \rho_{\min}$ $A_s/s \geq 0,9\text{cm}^2/\text{m}$

(fonte: CAMPOS FILHO, 2011, p. 12)

Tabela 3 – Taxas mínimas de armadura

Forma da seção	Valores de $\rho_{\min}^{1)}$ ( $A_{s,\min}/A_c$ ) %							
	$f_{ck}$ $\omega_{\min}$	20	25	30	35	40	45	50
Retangular	0,035	0,150	0,150	0,173	0,201	0,230	0,259	0,288

<sup>1)</sup> Os valores de  $\rho_{\min}$  estabelecidos nesta tabela pressupõem o uso de aço CA-50,  $\gamma_c = 1,4$  e  $\gamma_s = 1,15$ . Caso esses fatores sejam diferentes,  $\rho_{\min}$  deve ser recalculado com base no valor de  $\omega_{\min}$  dado.

NOTA Nas seções tipo T, a área da seção a ser considerada deve ser caracterizada pela alma acrescida da mesa colaborante.

(fonte: adaptado de ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 117)

Além de respeitar as áreas mínimas de armadura, a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 153) estabelece algumas disposições a respeito do detalhamento das armaduras para lajes maciças que devem ser consideradas:

- As armaduras devem ser dispostas de forma que se possa garantir o seu posicionamento durante a concretagem;
- Qualquer barra da armadura de flexão deve ter diâmetro no máximo igual a  $h/8$ ;
- As barras da armadura principal de flexão devem apresentar espaçamento no máximo igual a  $2h$  ou 20 cm, prevalecendo o menor desses dois valores na região dos maiores momentos fletores;
- A armadura secundária de flexão deve ser igual ou superior a 20% da armadura principal, mantendo-se, ainda, um espaçamento entre barras de, no máximo, 33 cm. A emenda dessas barras deve respeitar os mesmos critérios de emenda das barras da armadura principal.

Além disso, a respeito do detalhamento das armaduras, Campos Filho (2011, p. 30) destaca que ao determinar as armaduras negativas de lajes adjacentes, deve-se dimensionar para “[...]”

a menor das alturas úteis. [Sendo que] Estas armaduras devem se estender para cada lado do eixo do apoio de um comprimento igual a  $1/4$  do maior dos vãos menores das duas lajes consideradas.”. Há também a necessidade de armar as bordas das lajes de piso (nas extremidades sem lajes adjacentes), utilizando uma área de armadura igual a  $1/4$  da área de armadura máxima relativa ao vão, sendo que, deve-se utilizar no mínimo uma armadura de bitola de 5 mm com espaçamento de 20 cm, estendendo-se a  $1/5$  do menor vão da laje (CAMPOS FILHO, 2011, p. 30).

Após a definição das áreas de armadura, deve-se determinar o espaçamento e a bitola a ser utilizados no projeto. Para isso, aplica-se a tabela presente no anexo F. Entretanto, é importante ressaltar que se deve utilizar armaduras com bitolas de no mínimo 4,2 mm, com espaçamento de 10 a 15 cm, para armaduras positivas, e 5 mm, com espaçamento de 15 a 20 cm, para armaduras negativas (CAMPOS FILHO, 2011, p. 13).

## 6 DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS *STEEL DECK* E MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO EM UM PAVIMENTO TIPO EXEMPLO

O pavimento tipo utilizado como exemplo para o dimensionamento dos sistemas de lajes mistas *steel deck* e maciças é de um edifício residencial multifamiliar. O segundo, terceiro e quarto pavimento são os pavimentos tipos da edificação, com dois apartamentos por andar. A figura 20 apresenta uma perspectiva da estrutura de aço do edifício do exemplo.

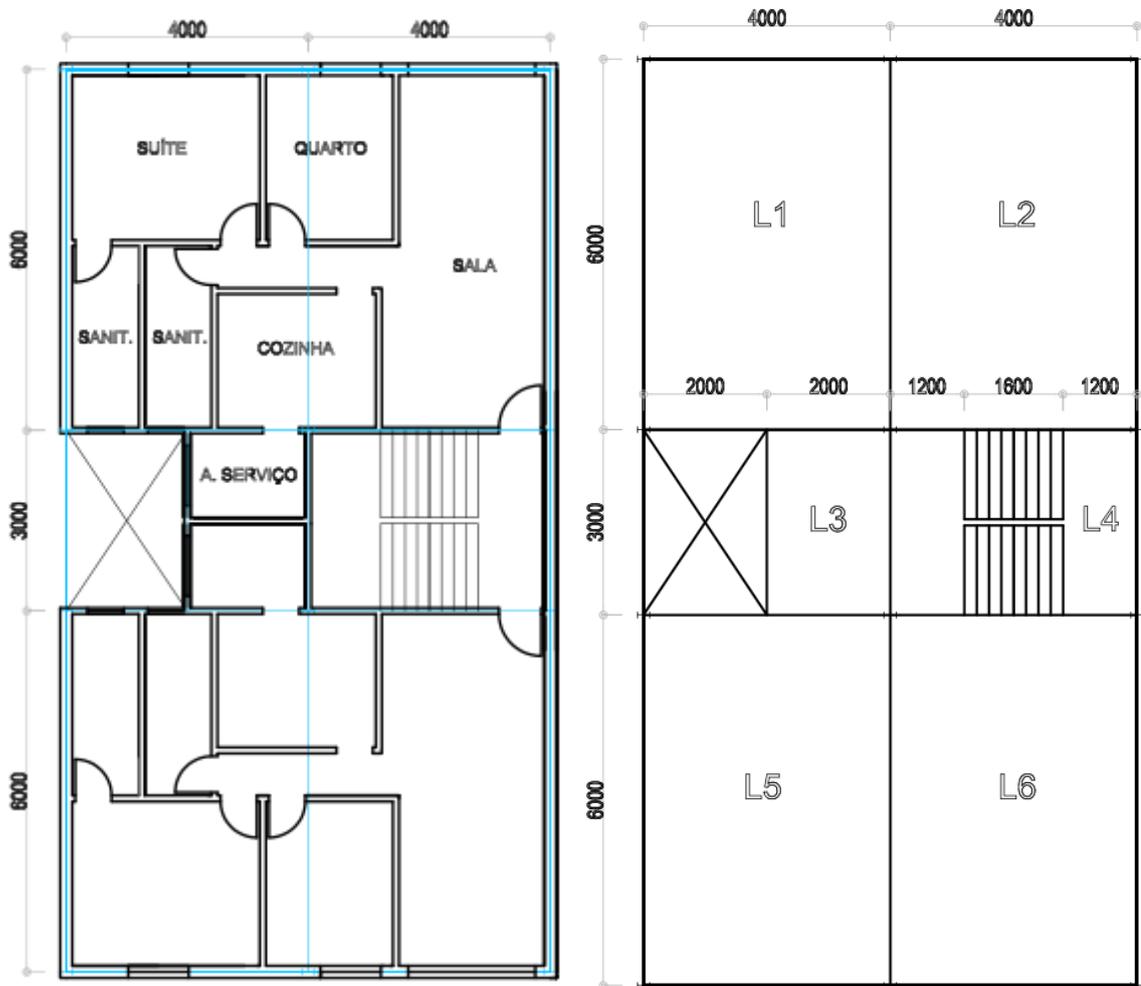
Figura 20 – Perspectiva da estrutura de aço do edifício



(fonte: BELLEI; BELLEI, 2011, p. 58)

A planta baixa arquitetônica do edifício, e o projeto estrutural, com a identificação das lajes, são apresentados na figura 21. Entretanto, cabe ressaltar, que a geometria do pavimento exposta, não é igual a original. Adaptou-se o projeto, diminuindo o vão na horizontal das lajes 1, 2, 5 e 6 de 4425 para 4000 mm, para posteriormente poder adotar o sistema de lajes mistas sem escoramento, já que 4425 mm é superior ao vão máximo admissível sem escoramento presente no catálogo do fabricante METFORM SA. Sendo assim, consequentemente, alterou-se também os vãos das lajes 3 e 4 de 2212 e 1215 mm para 2000 e 1200 mm, respectivamente. Por fim, a área do pavimento, com a adaptação do projeto, passou de 116,5 m<sup>2</sup>, para 105,6 m<sup>2</sup>.

Figura 21 – Planta baixa e plano das vigas do pavimento tipo



(fonte: adaptado de BELLEI; BELLEI, 2011, p. 54-55)

Para o dimensionamento das lajes, exceto ao peso próprio que varia de acordo com a solução e a espessura utilizada, para todas as demais ações, foram considerados os valores característicos descritos por Bellei e Bellei (2011, p. 62):

- a) ações permanentes,
  - paredes internas *drywall* = 0,3 kN/m<sup>2</sup>;
  - revestimento de piso = 0,5 kN/m<sup>2</sup>;
  - forro de gesso = 0,15 kN/m<sup>2</sup>;
- b) ações variáveis,
  - piso tipo (apartamentos) = 1,5 kN/m<sup>2</sup>;
  - área de serviço = 2 kN/m<sup>2</sup>;
  - escadas/hall/corredor = 3 kN/m<sup>2</sup>.

Com os valores das ações determinados, caracterizou-se quais ações eram aplicadas em quais lajes, para por fim possibilitar calcular os carregamentos. A denominação das lajes apresentada, refere-se as lajes da figura 21:

- a) ações permanentes,
  - L1, L2, L3, L5 e L6, peso próprio, paredes internas de *drywall*, revestimento de piso e forro de gesso;
  - L4, peso próprio, revestimento de piso e forro de gesso;
- b) ações variáveis,
  - L1, L2, L5 e L6, piso tipo (apartamentos);
  - L3, área de serviço;
  - L4, Escadas/hall/corredor.

Esses foram os dados das ações considerados para a determinação dos carregamentos nos dois sistemas. Portanto, a partir dos próximos itens, é apresentada a descrição do processo de dimensionamento para lajes, lajes mistas *steel deck* e maciças, indicando as considerações que foram feitas em cada etapa, para cada sistema e por fim os resultados obtidos ao final do dimensionamento.

## 6.1 DIMENSIONAMENTO ADOTANDO O SISTEMA DE LAJES MISTAS *STEEL DECK*

O dimensionamento para este sistema respeitou as exigências solicitadas pelo fabricante METFORM SA, utilizando para o dimensionamento a espessura de laje mínima exigida, de 140 mm, e concreto com resistência mínima à compressão a partir de 20 MPa. Sendo assim, a partir destes dados, e da geometria das lajes do pavimento aplicou-se as informações na planilha com as verificações programadas e fez-se a análise de qual perfil era adequado, ou seja, qual perfil passava em todas as verificações, prevalecendo a escolha para a menor espessura de laje e a menor espessura de chapa, além de considerar a utilização do sistema sem escoramento.. Os itens apresentados na sequência indicam o padrão das etapas da **rotina de dimensionamento para lajes mistas *steel deck*** adotada, e também, o que foi determinado para as lajes do pavimento exemplo.

### 6.1.1 Dados geométricos

Esta etapa é de reconhecimento do projeto, ou seja, é quando discretiza-se do pavimento em lajes, faz-se a identificação do vão que ficará paralelo às nervuras da chapa, e determina-se de acordo com a geometria quais lajes são consideradas contínuas ou somente biapoiadas. Para o pavimento tipo exemplo, considerou-se as lajes:

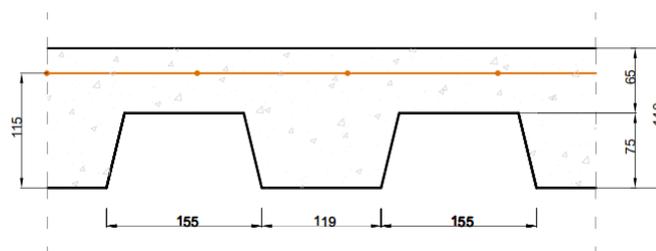
- a) L1-L2 e L5-L6 contínuas;
- b) L3 e L4 biapoiadas.

### 6.1.2 Determinação da espessura

O processo do dimensionamento de lajes mistas é iterativo. Ou seja, deve-se arbitrar uma espessura e fazer as verificações necessárias, se todas forem atendidas adota-se essa espessura. Porém, arbitrar uma espessura de laje para ser verificada em lajes mistas, envolve além de respeitar a espessura mínima exigida pelo fabricante (140 mm para lajes de piso), verificar o **vão máximo admissível para as chapas que se pretende analisar**. Sendo assim, após a determinação dos dados geométricos das lajes, busca-se no catálogo do fabricante que fôrma (MF-50 e MF-75), e que espessura de laje são adequadas.

Para o pavimento exemplo, o maior vão na direção das nervuras corresponde às lajes L1-L2 e L5-L6, sendo assim, como este é o caso crítico, analisou-se inicialmente esse vão para limitar a escolha da fôrma e da espessura adequada. As tabelas que foram avaliadas estão no anexo A. Verificando os vão máximos admissíveis sem escoramento para a chapa MF-50, já foi possível eliminar a possibilidade de utilização desse material, restando somente as chapas MF-75. Sendo assim, fez-se as verificações para as chapas MF-75, iniciando pela espessura mínima de laje exigida pelo fabricante. A figura 22 apresenta a seção da laje analisada.

Figura 22 – Seção da laje mista do pavimento tipo



(fonte: elaborado pela autora)

### 6.1.3 Carregamentos

Determinou-se os carregamentos das lajes somente para a fase final, uma vez que, para a fase inicial não foi necessário à determinação, pois a chapa foi avaliada somente através do vão máximo admissível, fornecido nas tabelas do anexo A. Sendo assim, para fase final, fez-se o dimensionamento de acordo com as combinações últimas normais da NBR 8800 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2008, p. 18), adotando os coeficientes de ponderação:

- a)  $\gamma_g$ , coeficiente de ponderação das ações permanentes relativas ao peso próprio de elementos construtivos industrializados com adições *in loco* = 1,4;
- b)  $\gamma_q$ , coeficiente de ponderação das ações variáveis relativas ao uso e ocupação = 1,5.

Portanto, para poder verificar as três espessuras de chapas (0,8, 0,95 e 1,25 mm) para cada espessura de laje ( 140 a 170 mm para MF-50, e 140 a 200 mm para MF-75) ao mesmo tempo na planilha de cálculo, adotou-se como peso próprio dessas lajes o valor correspondente às lajes com espessura de chapa de 1,25 mm, que correspondem sempre ao maior peso próprio de cada grupo de alturas de lajes, como pode ser verificado nas tabelas do anexo A. Como a variação do peso próprio das chapas de 0,8 para 1,25 mm em aproximadamente 90% dos casos possíveis para o dimensionamento é de 0,05 kN/m<sup>2</sup>, foram **padronizados**, para o maior valor, o peso próprio das lajes. Os resultados das combinações dos carregamentos de acordo com as lajes e variando as espessuras são apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Carregamentos nas lajes mistas variando o peso próprio

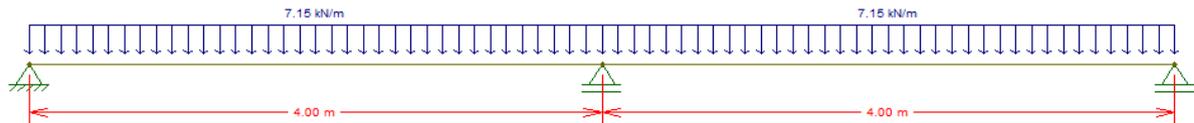
LAJE	MF-50				MF-75						
	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm	140 mm	150 mm	160 mm	170 mm	180 mm	190 mm	200 mm
	$F_d$ (kN/m <sup>2</sup> )										
L1	7,54	7,88	8,20	8,54	7,15	7,49	7,81	8,14	8,48	8,80	9,14
L2	7,54	7,88	8,20	8,54	7,15	7,49	7,81	8,14	8,48	8,80	9,14
L3	8,29	8,63	8,95	9,29	7,90	8,24	8,56	8,89	9,23	9,55	9,89
L4	9,37	9,71	10,03	10,37	8,98	9,32	9,64	9,97	10,31	10,63	10,97
L5	7,54	7,88	8,20	8,54	7,15	7,49	7,81	8,14	8,48	8,80	9,14
L6	7,54	7,88	8,20	8,54	7,15	7,49	7,81	8,14	8,48	8,80	9,14

(fonte: elaborado pela autora)

Portanto, adotando os dados da tabela 4, para os carregamentos aplicados nas lajes do pavimento tipo exemplo, utilizando as chapas MF-75, com espessura de chapa de 1,25 mm e espessura de laje de 140 mm, considerou-se:

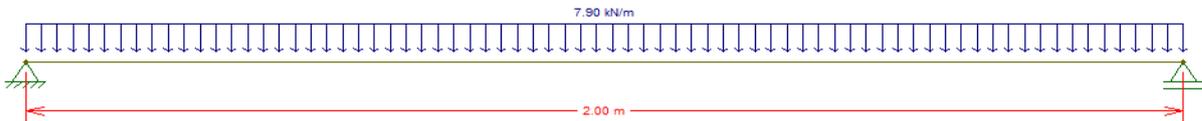
- a) L1-L2 e L5-L6 igual a  $7,15 \text{ kN/m}^2$ , conforme a figura 23;
- b) L3 igual a  $7,90 \text{ kN/m}^2$ , conforme a figura 24;
- c) L4 igual a  $8,98 \text{ kN/m}^2$ , conforme a figura 25.

Figura 23 – Carregamentos L1-L2 e L5-L6



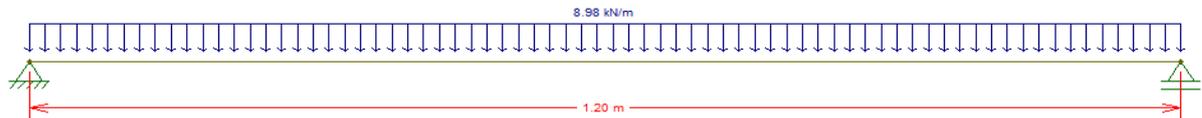
(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 24 – Carregamentos L3



(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 25 – Carregamentos L4



(fonte: FTOOL, 2013)

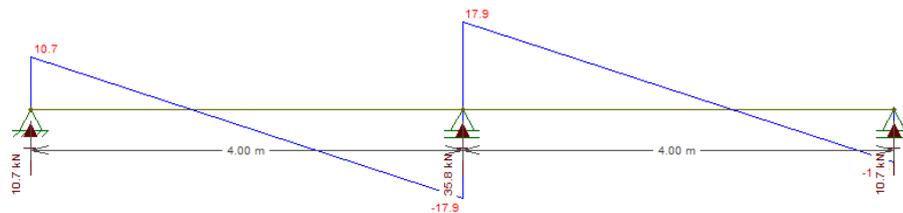
#### 6.1.4 Cálculo das solicitações

De acordo com a laje em estudo e a espessura a ser verificada, utiliza-se os dados dos carregamentos da tabela 4, aplicando-os no programa *Ftool* para determinação das respectivas solicitações para o esforço cortante e momento fletor das lajes descritas, além das reações dos apoios. Essas informações são reservadas, para após aplicar na planilha de cálculo de lajes mistas, a fim de determinar quais chapas atendem a todas as verificações. É importante ressaltar, que, conforme apresentado no item 4.3.2, a planilha de cálculo de lajes mistas, considera uma redução de 30% em momentos negativos, que ocorrem em lajes contínuas, sendo que o valor equivalente a essa redução é acrescido aos momentos positivos dos vãos.

Sendo assim, para o pavimento tipo exemplo, considerou-se os valores das solicitações, fornecidos dos diagramas de esforço cortante e momento fletor das lajes, expostos nas figuras 26 a 31:

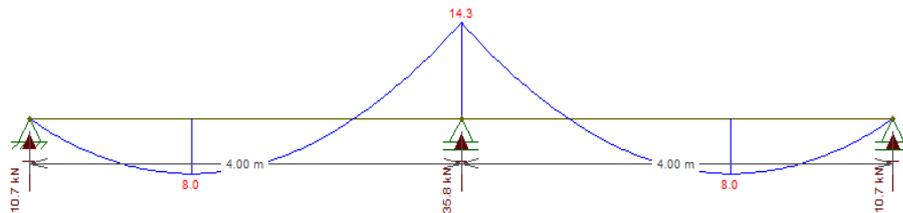
- a) L1-L2 e L5-L6, conforme as figuras 26 e 27,
- $V_{Sd} = 17,9 \text{ kN}$ ;
  - $M_{Sd}^+ = 8 \text{ kNm}$ , com o acréscimo de 30% do valor do momento negativo, igual a  $12,29 \text{ kNm}$ ;
  - $M_{Sd}^- = 14,3 \text{ kNm}$ , com a redução de 30% do valor do momento negativo, igual a  $10,01 \text{ kNm}$ ;
  - reações máximas de apoio, externo =  $10,7 \text{ kN}$  e interno =  $35,8 \text{ kN}$ ;
- b) L3, conforme as figuras 28 e 29,
- $V_{Sd} = 7,9 \text{ kN}$ ;
  - $M_{Sd}^+ = 4 \text{ kNm}$ ;
  - reação máxima de apoio externo =  $7,9 \text{ kN}$ ;
- c) L4, conforme as figuras 30 e 31,
- $V_{Sd} = 5,4 \text{ kN}$ ;
  - $M_{Sd}^+ = 1,6 \text{ kNm}$ ;
  - reação máxima de apoio externo =  $5,4 \text{ kN}$ .

Figura 26 – Diagrama de esforço cortante L1-L2 e L5-L6



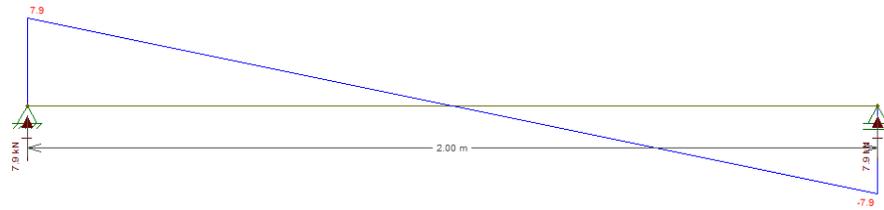
(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 27 – Diagrama de momento fletor L1-L2 e L5-L6



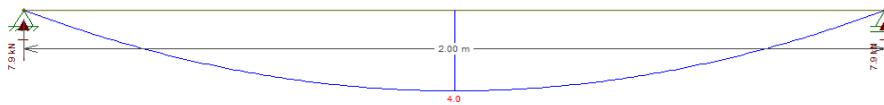
(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 28 – Diagrama de esforço cortante L3



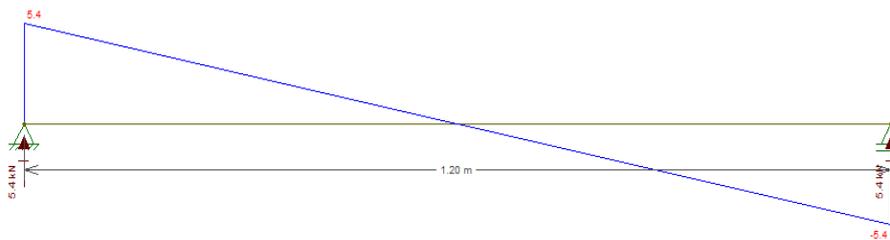
(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 29 – Diagrama de momento fletor L3



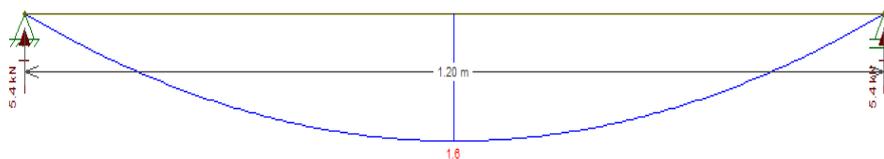
(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 30 – Diagrama de esforço cortante L4



(fonte: FTOOL, 2013)

Figura 31 – Diagrama de momento fletor L4



(fonte: FTOOL, 2013)

### 6.1.5 Verificações

Realizou-se as verificações de acordo com a planilha de dimensionamento de lajes mistas. Para a fase inicial verifica-se se o vão da laje na direção das nervuras pode ser utilizado sem escoramento, e para a fase final, as reações máximas nos apoios, o momento fletor positivo e negativo, cisalhamento vertical e longitudinal, e ainda a deformação.

As informações referentes às propriedades físicas das chapas são apresentadas nas tabelas do anexo B. Essas informações fazem parte do banco de dados necessário para a resolução das fórmulas das verificações descritas na planilha de dimensionamento. Além dos resultados das verificações da planilha, deve-se buscar, através das tabelas presentes no anexo C, a armadura em tela soldada necessária, e o índice para o cálculo do consumo de concreto.

As verificações necessárias para o dimensionamento das lajes do pavimento tipo exemplo iniciaram-se, através do lançamento dos dados das solicitações, determinados na etapa anterior, na planilha de cálculo. Através dos resultados apresentados na planilha, com a indicação de quais espessuras de fôrma verificam e não verificam, possibilitou-se uma rápida análise. Sendo assim, para as lajes do pavimento, considerando a espessura de laje de 140 mm, a única fôrma que atende a todas as verificações é a de espessura de 1,25 mm. A planilha com as verificações das lajes dimensionadas é apresentada no apêndice A.

Após a definição da espessura de laje a ser utilizada, através das tabelas do anexo C, determinou-se que a armadura de tela soldada, deve ser a Q75. Além disso, nas mesmas tabelas, obtêm-se que o índice para calcular o consumo de concreto para esse sistema de lajes é  $0,1025 \text{ m}^3/\text{m}^2$ .

### 6.1.6 Resultados

Após a conclusão de todas as etapas anteriores, como resultados do dimensionamento, deve-se ter as informações descritas abaixo:

- a) especificação da resistência a compressão do concreto;
- b) especificação da fôrma, ou seja, a determinação da altura da chapa (MF-50 ou MF-75), e a espessura da mesma (0,8, 0,95 e 1,25);
- c) espessura da laje;
- d) armaduras adicionais;
- e) consumo de concreto.

Portanto, para as lajes do pavimento tipo exemplo, após as verificações na planilha de dimensionamento, obteve-se os seguintes resultados:

- a)  $f_{ck}$  de 35 MPa;
- b) perfil da fôrma de aço *Steel Deck* MF-75 e = 1,25mm;

- c) espessura total da laje de 140 mm;
- d) armaduras adicionais,
  - armadura de fissuração, tela soldada Q75  $\varnothing$  3,8 x  $\varnothing$  3,8 – 150 x 150;
  - armadura negativa (somente para L1-L2 e L5-L6),  $\varnothing$  8 a cada 20 cm;
- e) consumo de concreto de 10,8 m<sup>3</sup>/pavimento.

## 6.2 DIMENSIONAMENTO ADOTANDO O SISTEMA DE LAJES MACIÇAS DE CONCRETO ARMADO

O dimensionamento para este sistema realizou-se através da planilha de cálculo de lajes maciças. Os itens apresentados na sequência, indicam a **rotina de dimensionamento para lajes maciças** adotada.

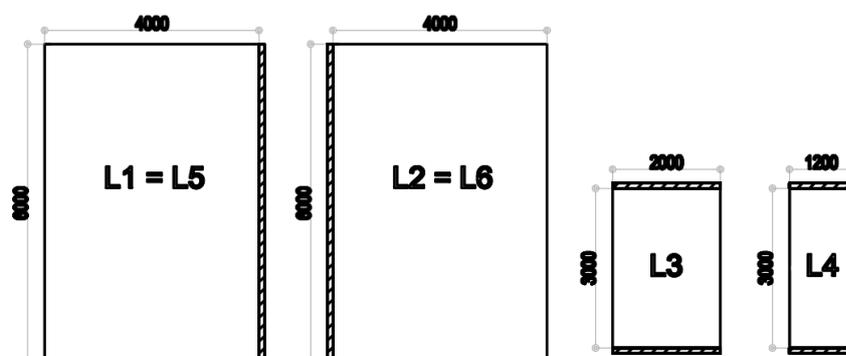
### 6.2.1 Dados geométricos

Inicialmente deve-se discretizar o pavimento em lajes separadas para determinar as vinculações nas bordas. As vinculações devem ser determinadas conforme apresentado no item 5.3, identificando as bordas apoiadas e engastadas.

Para as bordas das lajes do pavimento tipo do edifício exemplo, considerou-se que as lajes:

- a) L1, L2, L3, L4 e L5 são apoiadas em todas as bordas, exceto no apoio central, onde se considerou a borda engastada, conforme a figura 32;
- b) L3 e L4 são apoiadas nas bordas das laterais esquerda e direita, e engastadas nas bordas superior e inferior, conforme a figura 32.

Figura 32 – Vinculações das bordas das lajes do pavimento tipo



(fonte: elaborado pela autora)

### 6.2.2 Determinação da espessura

O processo é iterativo, ou seja, arbitra-se uma espessura, respeitando a espessura mínima (8 cm para lajes de piso, conforme o item 5.1), e após determinados os carregamentos, avalia-se para o estado limite de serviço a deformação, verificando se a flecha de longa duração está dentro dos limites estabelecidos. Se a flecha de longa duração for maior que a flecha admissível, aumenta-se em 1 cm a espessura da laje, até essa verificação ser atendida.

A planilha de dimensionamento faz essa verificação, indicando quando a espessura está adequada e quando deve ser alterada. Para as lajes do pavimento exemplo, todas atendem a verificação da flecha admissível, em relação a flecha de longa duração, com a espessura mínima de 8 cm.

### 6.2.3 Carregamentos

O carregamento das lajes para o estado limite último, determina-se de acordo com as combinações últimas normais, e para o estado limite de serviço, conforme as combinações quase permanentes de serviço. Sendo assim, de acordo com a NBR 6118 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2007, p. 61-62), os coeficientes de ponderação a ser utilizados são:

- a)  $\gamma_g$ , coeficiente de ponderação das ações permanentes = 1,4;
- b)  $\gamma_q$ , coeficiente de ponderação das ações variáveis = 1,4.

Os resultados dos carregamentos aplicados nas lajes do pavimento tipo exemplo, calculados através da planilha de dimensionamento, considerando o peso próprio de lajes com espessura de 8 cm, são apresentados abaixo:

- a) L1, L2, L5 e L6 igual a 3,40 kN/m<sup>2</sup> para a combinação quase permanente de serviço, e 4,45 kN/m<sup>2</sup> para a combinação última normal;
- b) L3 igual a 3,55 kN/m<sup>2</sup> para a combinação quase permanente de serviço, e 4,95 kN/m<sup>2</sup> para a combinação última normal;
- c) L4 igual a 3,55 kN/m<sup>2</sup> para a combinação quase permanente de serviço, e 5,65 kN/m<sup>2</sup> para a combinação última normal.

## 6.2.4 Cálculo das solicitações

O cálculo das solicitações é a etapa de determinação dos momentos atuantes nas lajes, sendo que, essas solicitações são calculadas para os estados limites últimos. Inicialmente determina-se os momentos no vão e no engaste, quando houver, para o estado limite de último, considerando o regime rígido-plástico do concreto, e atentando as fórmulas para o cálculo das lajes armadas em uma ou em duas direções somente nesse regime.

Para o pavimento exemplo, determinou-se as solicitações através da planilha de dimensionamento de laje maciças, e os resultados são apresentados nas planilhas do apêndice B.

## 6.2.5 Dimensionamento das armaduras

O dimensionamento das armaduras realiza-se através da planilha de cálculo de lajes maciças. Nesta etapa, determina-se as áreas de armaduras de acordo com o item 5.3.2.2, respeitado o cobrimento de acordo com a classe de agressividade ambiental e as armaduras mínimas.

O apêndice B apresenta as planilhas de dimensionamento de lajes maciças, onde pode ser verificado, que para o pavimento tipo exemplo, determinou-se as áreas de armadura para as lajes armadas em uma e duas direções. Abaixo são apresentados os valores das áreas de armadura e a especificação das barras a ser utilizadas, determinadas de acordo com a tabela do anexo F:

a) L1, L2, L5 e L6,

- $A_s$  positiva vão menor - 4 m = 2,32 cm<sup>2</sup>/m, sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\emptyset$  6,3 mm c/ 13 cm ( $A_s = 2,40$  cm<sup>2</sup>/m);
- $A_s$  positiva vão maior - 6 m = 1,68 cm<sup>2</sup>/m, sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\emptyset$  6,3 mm c/ 18 cm ( $A_s = 1,73$  cm<sup>2</sup>/m);
- $A_s$  negativa engaste = 3,27 cm<sup>2</sup>/m, sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\emptyset$  8,0 mm c/ 15 cm ( $A_s = 3,35$  cm<sup>2</sup>/m);

b) L3,

- $A_s$  positiva vão menor - 2 m = 0,80 cm<sup>2</sup>/m, sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\emptyset$  5,0 mm c/ 20 cm ( $A_s = 0,98$  cm<sup>2</sup>/m);
- $A_s$  positiva vão maior - 3 m = 0,80 cm<sup>2</sup>/m, sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\emptyset$  5,0 mm c/ 20 cm ( $A_s = 0,98$  cm<sup>2</sup>/m);

- $A_s$  negativa engaste =  $1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$ , sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 16 \text{ cm}$  ( $A_s = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$ );

c) L4,

- $A_s$  positiva principal vão menor  $1,2 \text{ m} = 1,20 \text{ cm}^2/\text{m}$ , sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 16 \text{ cm}$  ( $A_s = 1,23 \text{ cm}^2/\text{m}$ );
- $A_s$  positiva distribuição vão maior -  $3 \text{ m} = 0,90 \text{ cm}^2/\text{m}$ , sendo assim, a armadura a ser adotada é  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 20 \text{ cm}$  ( $A_s = 0,98 \text{ cm}^2/\text{m}$ ).

## 6.2.6 Resultados

Após a conclusão de todas as etapas anteriores, como resultados do dimensionamento deve-se ter:

- a) especificação da resistência a compressão do concreto;
- b) espessura da laje;
- c) detalhamento das armaduras;
- d) consumo de concreto.

Sendo assim, para as lajes do pavimento exemplo, obteve-se os seguintes resultados:

- a)  $f_{ck}$  de 20 MPa;
- b) espessura da laje de 8 cm;
- c) detalhamento das armaduras,
  - L1, L2, L5 e L6, armadura positiva de  $\varnothing 6,3 \text{ mm c/ } 13 \text{ cm}$  e  $\varnothing 6,3 \text{ mm c/ } 18 \text{ cm}$ , nos vãos de 4 e 6 metros, respectivamente, além da armadura negativa de  $\varnothing 8,0 \text{ mm c/ } 15 \text{ cm}$  na borda adjacente das lajes L1-L2 e L5-L6;
  - L3, armadura positiva de  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 20 \text{ cm}$ , para ambos os vãos de 2 e 3 metros, além da armadura negativa de  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 16 \text{ cm}$  nas bordas adjacente as lajes L1 e L5;
  - L4, armadura positiva de  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 16 \text{ cm}$ , para o vão de 1,2 metros, e armadura de distribuição de  $\varnothing 5,0 \text{ mm c/ } 20 \text{ cm}$  no vão de 3 metros;
- d) consumo de concreto de  $8,4 \text{ m}^3/\text{pavimento}$ .

## 7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A seleção de uma solução estrutural, mais adequada, para lajes, depende de outros fatores além da capacidade em resistir os esforços aplicados. Esta escolha depende também, do custo envolvido, do tempo para execução, além das demais particularidades que envolvem cada sistema. Todas essas questões devem ser avaliadas em conjunto, de maneira que alternativa adotada seja eficiente. Analisando, por exemplo, um empreendimento com cronograma de execução curto, a opção pela utilização de lajes mistas, que é um sistema, normalmente associado, a obras com prazos reduzidos, prevalece se comparada a lajes maciças. Entretanto, para um mesmo empreendimento, em que esse fator não for um limitante, não há razão para aplicar um sistema em que as vantagens não trazem benefícios suficientes que justifiquem a sua utilização, sendo assim, adotar-se-ia as lajes maciças, ao invés de lajes mistas.

Com os resultados do dimensionamento do pavimento tipo exemplo, apresentados no trabalho, pode-se afirmar que se alcançou os objetivos iniciais do trabalho. Pois para atingir os dados apresentados necessitou-se descrever as verificações necessárias para o dimensionamento, além de desenvolver a rotina de cálculo, em planilha eletrônica através do *Microsoft Office Excel* para os dois sistemas.

Através dos resultados obtidos no dimensionamento do pavimento exemplo, foi possível verificar que o consumo de concreto, para o sistema de lajes mistas, é maior, em 2,4 m<sup>3</sup> por pavimento, se comparado ao consumo de lajes maciças. Para o edifício estudado, com somente três pavimentos tipo, o segundo, terceiro e quarto pavimento, isso representa um total de 7,8 m<sup>3</sup> a mais de concreto consumido, ou seja, para este edifício, esse valor não configura uma diferença significativa, uma vez que, a área do pavimento é pequena, e o número de andares também. Entretanto, em contrapartida a esse maior consumo de concreto, o sistema de lajes mistas determinado, apresenta como benefício a supressão total do escoramento, e a eliminação do consumo de madeira para execução das fôrmas, diferente do que ocorre para as lajes maciças.

## REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, A. T.; PINHEIRO, L. M. Viabilidade econômica de alternativas estruturais de concreto armado para edifícios. **Cadernos de Engenharia de Estruturas**, São Carlos, v. 6, n. 19, p. 1-20, 2002. Disponível em: <<http://www.set.eesc.usp.br/cadernos/pdf/cee19.pdf>>. Acesso em: 7 out. 2012.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. Rio de Janeiro, 2007.
- \_\_\_\_\_. **NBR 8800**: projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- BEER, F. P.; JOHNSTON JR., E. R. **Resistência dos materiais**. 3. ed. São Paulo: Pearson Makron Books, 1995.
- BELLEI, I. H.; BELLEI, H. N. **Edifícios de pequeno porte estruturados em aço**. 4. ed. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil/CBCA, 2011.
- BELTRÃO, A. J. N. **Comportamento estrutural de lajes mistas com corrugações na alma de perfis de chapa dobrada**. 2003. 125 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.
- BRAGANÇA, A.C. Fôrmas-laje de aço e concreto. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 10, n. 49, não paginado, nov. 2000. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/49/artigo32353-1.asp>><sup>15</sup>. Acesso em: 11 nov. 2012.
- CALIXTO, J. M.; BENDOLAN, G.; PIMENTA, R. Estudo comparativo dos critérios de dimensionamento ao cisalhamento longitudinal em lajes mistas de aço e concreto. **Revista Ibracon de Estruturas e Materiais**, São Paulo, v. 2, n. 2, p. 133-141, jun. 2009. Disponível em: <<http://www.revistas.ibracon.org.br/index.php/riem/article/viewFile/98/60>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- CAMPOS FILHO, A. **Projeto de lajes maciças de concreto armado**. Porto Alegre: UFRGS, 2011. Apostila de aula – Disciplina de Concreto Armado 2. Disponível em: <<http://chasqueweb.ufrgs.br/~americo/eng01112/lajes.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2012.
- CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO FILHO, J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado**: segundo a NBR 6118: 2003. 3. ed. São Carlos: EdUFSCar, 2007.
- CICHINELLI, G. Construção rápida: sistema misto que dispensa parcial ou totalmente o escoramento, o *steel deck* agiliza a execução e reduz custos. **Revista Técnica**, São Paulo: Pini, ano 20, n. 179, p. 32-37, fev. 2012. Disponível em:

<sup>15</sup> Acesso mediante usuário e senha de assinante.

<<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/179/construcao-rapida-sistema-misto-que-dispensa-parcial-ou-totalmente-250008-1.asp>><sup>16</sup>. Acesso em: 11 nov. 2012.

COELHO, R. A. **Interface entre perfis estruturais laminados e sistemas complementares**. 4. ed. [São Paulo]: Gerdau, 2007. Coletânea do uso do aço. Disponível em: <<http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=319>><sup>17</sup>. Acesso em: 3 dez. 2012.

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.

FAKURY, R. H. Sobre a revisão da norma brasileira de projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto, a NBR 8800. **REM**: Revista Escola de Minas, Ouro Preto, v. 60, n. 2, p. 233-239, abr./jun. 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rem/v60n2/v60n02a05.pdf>>. Acesso em: 10 nov. 2012.

GOMES, L. C. **Estudo do sistema de lajes mistas com fôrma de aço incorporada empregando concreto estrutural leve**. 2001. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.

MARTHA, L. F. **Ftool**: um programa gráfico-interativo para ensino de comportamento de estruturas. Versão 2.11, 2002. Software – Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002. Software disponível em: <<http://www.engenhariacivil.com/ftool-v211>><sup>18</sup>. Acesso em: 3 dez. 2012.

METFORM SA. **Steel Deck Metform Manual Técnico**: Especificações para Projeto, Manuseio e Montagem. Betim, 2006.

\_\_\_\_\_. **Telha Fôrma (Steel Deck)**. Betim, 2012. Não paginado.

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

<sup>16</sup> Acesso mediante usuário e senha de assinante.

<sup>17</sup> Estando no site <<http://www.gerdau.com.br/produtos-e-servicos/produtos-por-aplicacao-detalle-produto.aspx?familia=319>>, seleciona a aba “Catálogos e manuais”, e localize na lista dos documentos o <Manual Interface entre Perfis Estruturais Laminados e Sistemas complementares.zip>: selecione para fazer o *download* do documento.

<sup>18</sup> Estando no site <<http://www.engenhariacivil.com/ftool-v211>>, localize <ftool211win.zip>: selecione para fazer o *download* do *software*.

**APÊNDICE A – Planilhas – Dimensionamento das lajes mistas *steel deck*:  
L1-L2, L3 e L4**

### DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

**Dados informativos**

Identificação do projeto: **L1-L2**

**Resistência do concreto**

f<sub>ck</sub>: 35 Mpa  
q: 7,15 kN/m<sup>2</sup>

**Momento fletor**

M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: 8 kNm/m  
M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: 14,3 kNm/m  
M<sub>sdl</sub> - CÁLCULO: 1229 kNcm/m  
M<sub>sd</sub> - CÁLCULO: 1001 kNcm/m  
Área de aço p/ M<sub>sdl</sub>: 2,52 cm<sup>2</sup>/m

**Esforço cortante**

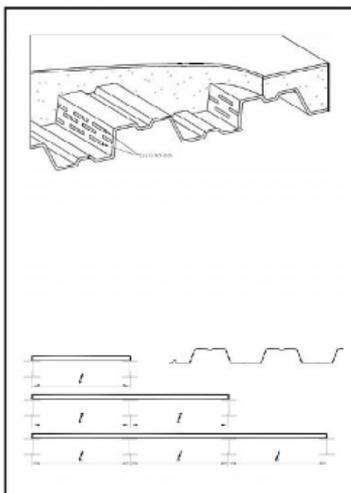
l<sub>s</sub>: 900,00 mm  
V<sub>sd</sub>: 17,9 kN/m

**Reações dos apoios**

Externos: 10,7 kN  
Internos: 35,8 kN

Vão da laje na direção das nervuras: 4000 mm  
N° de vãos: 2  
Vão máximo sem escoramento: 4000 mm

**RESULTADOS >>>**



L1-L2				Vãos Máximos Sem Escoramento						Reações máximas de apoio						
Especif. da forma	Espessura da laje	Altura	Esp. Nominal	Vão máximo sem escoramento utilizado	Simplex	Verifica x Não verifica	Duplo	Verifica x Não verifica	Tripo	Verifica x Não verifica	Externo s <sub>1</sub>	Externo s <sub>2</sub>	Verifica x Não verifica	Interno s <sub>1</sub>	Interno s <sub>2</sub>	Verifica x Não verifica
	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)		(mm)		(mm)		(kN)	(kN)		(kN)	(kN)	
MF-75	140	75	0,80	4000	2200	-	3100	Não verifica	3200	-	6,76	10,70	Não Verifica	21,01	35,80	Não Verifica
MF-75	140	75	0,95	4000	2850	-	3500	Não verifica	3600	-	8,90	10,70	Não Verifica	23,70	35,80	Não Verifica
MF-75	140	75	1,25	4000	3500	-	4150	Verifica	4250	-	14,62	10,70	Verifica	49,53	35,80	Verifica

L1-L2				Verificação - Momento Fletor Positivo								Verificação - Momento Fletor Negativo						
Especif. da forma	Espessura da laje	Altura	Esp. Nominal	Posição da Linha Neutra Plástica			a	Mrd,pl	Msd	Mrd,pl/Msd	Verifica x Não verifica	A <sub>s</sub>	X	Z	Mrd,pl	Msd	Mrd,pl/Msd	Verifica x Não verifica
				N <sub>pa</sub>	N <sub>o</sub>	N <sub>pa</sub> /N <sub>o</sub>												
MF-75	140	75	0,80	270,75	1381,68	N <sub>pa</sub> /N <sub>o</sub>	1,27	2602,96	1223,00	2,12	Verifica	2,52	1,19	10,91	1194,96	1001,00	1,19	Verifica
MF-75	140	75	0,95	324,31	1378,49	N <sub>pa</sub> /N <sub>o</sub>	1,53	3074,46	1223,00	2,50	Verifica	2,52	1,19	10,91	1194,96	1001,00	1,19	Verifica
MF-75	140	75	1,25	431,20	1372,11	N <sub>pa</sub> /N <sub>o</sub>	2,03	3372,82	1223,00	3,23	Verifica	2,52	1,19	10,91	1194,96	1001,00	1,19	Verifica

L1-L2				Verificação - Cisalhamento Vertical								Verificação - Cisalhamento Longitudinal						
Especif. da forma	Espessura da laje	Altura	Esp. Nominal	f <sub>ctd</sub>	T <sub>al</sub> R <sub>d</sub>	k <sub>v</sub>	ρ	V <sub>vc</sub> R <sub>d</sub>	V <sub>máx</sub>	V <sub>v</sub> R <sub>d</sub>	Verifica x Não verifica	V <sub>sdl</sub>	V <sub>sd</sub> /V <sub>v</sub> R <sub>d</sub>	Verifica x Não verifica	V <sub>l</sub> R <sub>d</sub>	V <sub>sdl</sub>	V <sub>l</sub> d/V <sub>sd</sub>	Verifica x Não verifica
MF-75	140	75	0,80	1605	0,40	1	0	37,64	13181	72,84	Verifica	17,9	4,35	Verifica	15,55	17,9	0,87	Não Verifica
MF-75	140	75	0,95	1605	0,40	1	0	37,64	13181	96,50	Verifica	17,9	5,39	Verifica	21,90	17,9	1,22	Verifica
MF-75	140	75	1,25	1605	0,40	1	0	37,64	13181	131,71	Verifica	17,9	7,38	Verifica	36,80	17,9	2,06	Verifica

L1-L2				Verificação - Deformação vertical				
Especif. da forma	Espessura da laje	Altura	Esp. Nominal	q	E <sub>c</sub>	Flecha calculada	Flecha máxima	Verifica x Não verifica
	(mm)	(mm)	(mm)	(kN/m <sup>2</sup> )	(MPa)	(mm)	(mm)	
MF-75	140	75	0,80	7,15	28161	8,32	11,43	Verifica
MF-75	140	75	0,95	7,15	28161	6,75	11,43	Verifica
MF-75	140	75	1,25	7,15	28161	5,08	11,43	Verifica

### DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

**Dados informativos**

Identificação do projeto: **L3**

**Resistência do concreto**

fck: **35 Mpa**

q: **7,9 kN/m<sup>2</sup>**

**Momento fletor**

M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: **4 kNm/m**

M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: **0 kNm/m**

M<sub>sdl</sub> - CÁLCULO: **400 kNcm/m**

M<sub>sdl</sub> - CÁLCULO: **0 kNcm/m**

Área de aço ρ/ M<sub>sdl</sub>: **0 cm<sup>2</sup>/m**

**Esforço cortante**

L<sub>s</sub>: **500,00 mm**

V<sub>sd</sub>: **7,9 kN/m**

**Reações dos apoios**

Externos: **7,9 kN**

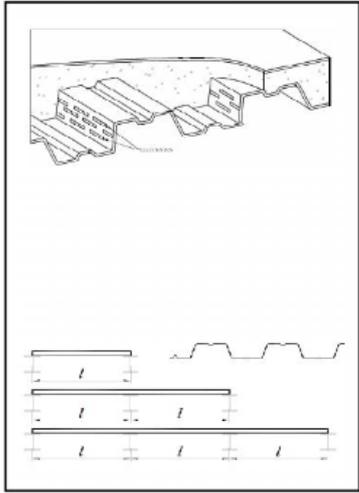
Internos: **0 kN**

Vão da laje na direção das nervuras: **2000 mm**

N° de vãos: **1**

Vão máximo sem escoramento: **2000 mm**

**RESULTADOS >>>**



L3				Vãos Máximos Sem Escoramento						Reações máximas de apoio						
Especif. da forma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	Vão máximo sem escoramento utilizado (mm)	Simplex (mm)	Verifica e Não verifica	Duplo (mm)	Verifica e Não verifica	Triplo (mm)	Verifica e Não verifica	Externo e <sub>2</sub> (kN)	Externo e <sub>1</sub> (kN)	Verifica e Não verifica	Interno e <sub>2</sub> (kN)	Interno e <sub>1</sub> (kN)	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,80	2000	2200	Verifica	3100	-	3200	-	6,76	7,90	Não Verifica	21,01	0,00	Verifica
MF-75	140	75	0,95	2000	2850	Verifica	2500	-	2600	-	8,90	7,90	Verifica	23,70	0,00	Verifica
MF-75	140	75	1,25	2000	3500	Verifica	4150	-	4250	-	14,62	7,90	Verifica	43,53	0,00	Verifica

L3				Verificação - Momento Fletor Positivo								Verificação - Momento Fletor Negativo						
Especif. da forma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	Posição da Linha Neutra Plástica				Mrd,pl (kNm/m)	Msd (kNm/m)	Mrd,pl/Msd	Verifica e Não verifica	As (cm/m)	X (cm)	Z (cm)	Mrd,pl (kNm/m)	Msd (kNm/m)	Mrd,pl/Msd	Verifica e Não verifica
				Npa (kN)	No (kN)	Npa/No	a (cm)											
MF-75	140	75	0,80	270,75	1381,68	Npa/No	1,27	2,602,96	400,00	6,51	Verifica	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	-	Verifica
MF-75	140	75	0,95	324,31	1378,49	Npa/No	1,53	3,074,46	400,00	7,69	Verifica	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	-	Verifica
MF-75	140	75	1,25	431,20	1372,11	Npa/No	2,03	3,972,82	400,00	9,93	Verifica	0,00	0,00	11,50	0,00	0,00	-	Verifica

L3				Verificação - Cisalhamento Vertical								Verificação - Cisalhamento Longitudinal						
Especif. da forma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	fotd (MPa)	TalFtd (kN/cm <sup>2</sup> )	kv	ρ	VvcFtd (kN/m)	V <sub>máx</sub> (kN/m)	Vv,Ftd (kN/m)	Verifica e Não verifica	Vsd (kN/m)	Vsd/Vv,Ftd	Verifica e Não verifica	Vl,Ftd (kN/m)	Vsdj (kN/m)	Vlrd/vsd	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,95	1,805	0,40	1	0	37,64	131,81	98,50	Verifica	7,9	12,22	Verifica	38,49	7,9	4,87	Verifica
MF-75	140	75	1,25	1,805	0,40	1	0	37,64	131,81	131,71	Verifica	7,9	16,67	Verifica	63,67	7,9	8,06	Verifica

L3				Verificação - Deformação vertical				
Especif. da forma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	q (kN/m <sup>2</sup> )	E <sub>c</sub> (MPa)	Flecha calculada (mm)	Flecha máxima (mm)	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,80	7,90	28161	0,57	5,71	Verifica
MF-75	140	75	0,95	7,90	28161	0,47	5,71	Verifica
MF-75	140	75	1,25	7,90	28161	0,35	5,71	Verifica

### DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS STEEL DECK

**Dados informativos**

Identificação do projeto: **L4**

**Resistência do concreto**

f<sub>ck</sub>: **35** Mpa  
 q: **8,98** kN/m<sup>2</sup>

**Momento fletor**

M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: **1,6** kNm/m  
 M<sub>sdl</sub> - DIAGRAMA: **0** kNm/m  
 M<sub>sdl</sub> - CÁLCULO: **160** kNcm/m  
 M<sub>sdl</sub> - CÁLCULO: **0** kNcm/m  
 Área de aço p / M<sub>sdl</sub>: **0** cm<sup>2</sup>/m

**Esforço cortante**

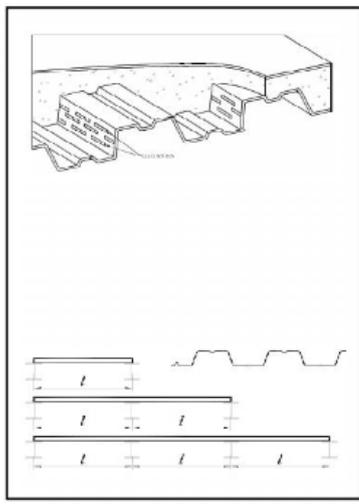
l<sub>s</sub>: **305,00** mm  
 V<sub>sdl</sub>: **5,4** kN/m

**Reações dos apoios**

Externos: **5,4** kN  
 Internos: **0** kN

Vão da laje na direção das nervuras: **1200** mm  
 N° de vãos: **1**  
 Vão máximo sem escoramento: **1200** mm

**RESULTADOS >>>**



L4				Vãos Máximos Sem Escoramento						Reações máximas de apoio						
Especif. da fôrma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	Vão máximo sem escoramento utilizado (mm)	Simplex (mm)	Verifica e Não verifica	Duplo (mm)	Verifica e Não verifica	Tripo (mm)	Verifica e Não verifica	Externo e <sub>1</sub> (kN)	Externo e <sub>2</sub> (kN)	Verifica e Não verifica	Interno e <sub>1</sub> (kN)	Interno e <sub>2</sub> (kN)	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,80	1200	2200	Verifica	3100	-	3200	-	6,76	5,40	Verifica	21,01	0,00	Verifica
MF-75	140	75	0,95	1200	2850	Verifica	3500	-	3600	-	8,30	5,40	Verifica	23,70	0,00	Verifica
MF-75	140	75	1,25	1200	3500	Verifica	4150	-	4250	-	14,62	5,40	Verifica	43,53	0,00	Verifica

L4				Verificação - Momento Fletor Positivo								Verificação - Momento Fletor Negativo							
Especif. da fôrma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	Posição da Linha Neutra Plástica				a (cm)	Mrd.pl (kNm/m)	Msd (kNm/m)	Mrd.pl/Msd	Verifica e Não verifica	As (cm <sup>2</sup> /m)	X (cm)	Z (cm)	Mrd.pl (kNm/m)	Msd (kNm/m)	Mrd.pl/Msd	Verifica e Não verifica
				Npa (kN)	Nc (kN)	Npa/Nc	Npa/Nc												
MF-75	140	75	0,80	270,75	1381,68	Npa/Nc	1,27	2602,96	160,00	16,27	Verifica	0,00	0,00	1150	0,00	0,00	-	Verifica	
MF-75	140	75	0,95	324,31	1378,49	Npa/Nc	1,53	3074,46	160,00	19,22	Verifica	0,00	0,00	1150	0,00	0,00	-	Verifica	
MF-75	140	75	1,25	431,20	1372,11	Npa/Nc	2,03	3372,82	160,00	24,83	Verifica	0,00	0,00	1150	0,00	0,00	-	Verifica	

L4				Verificação - Cisalhamento Vertical									Verificação - Cisalhamento Longitudinal					
Especif. da fôrma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	f <sub>td</sub> (MPa)	T <sub>al</sub> F <sub>d</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	kv	ρ	V <sub>v</sub> F <sub>d</sub> (kN/m)	V <sub>máx</sub> (kN/m)	V <sub>v</sub> F <sub>d</sub> (kN/m)	Verifica e Não verifica	V <sub>sdl</sub> (kN/m)	V <sub>sdl</sub> /V <sub>v</sub> F <sub>d</sub>	Verifica e Não verifica	V <sub>l</sub> F <sub>d</sub> (kN/m)	V <sub>sdl</sub> (kN/m)	V <sub>l</sub> F <sub>d</sub> /V <sub>sdl</sub>	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,95	1605	0,40	1	0	37,64	131,81	96,50	Verifica	5,4	17,87	Verifica	62,35	5,4	11,95	Verifica
MF-75	140	75	1,25	1605	0,40	1	0	37,64	131,81	131,71	Verifica	5,4	24,39	Verifica	102,33	5,4	18,95	Verifica

L4				Verificação - Deformação vertical				
Especif. da fôrma	Espessura da laje (mm)	Altura (mm)	Esp. Nominal (mm)	q (kN/m <sup>2</sup> )	E <sub>s</sub> (MPa)	Flecha calculada (mm)	Flecha máxima (mm)	Verifica e Não verifica
MF-75	140	75	0,80	8,98	28161	0,08	3,43	Verifica
MF-75	140	75	0,95	8,98	28161	0,07	3,43	Verifica
MF-75	140	75	1,25	8,98	28161	0,05	3,43	Verifica

**APÊNDICE B – Planilhas – Dimensionamento das lajes maciças de  
concreto armado: L1, L2, L3 e L4**

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS	
<b>DADOS INFORMATIVOS</b>	
<b>DADOS DO PROJETO</b>	
Identificação do projeto	L1
Tipologia da edificação	Edifícios residenciais
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	
Aço	CA-50
Concreto	C20
<b>CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL</b>	
Tabela - Classes de agressividade ambiental	CAA I
<b>DADOS GEOMÉTRICOS</b>	
<b>VINCULAÇÕES</b>	
<b>DIMENSÕES</b>	
Comprimento na horizontal (m)	4,00
Comprimento na vertical (m)	6,00
<b>CARREGAMENTOS</b>	
<b>CARGA PERMANENTE - EXCETO PESO PRÓPRIO</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	0,95
<b>CARGA VARIÁVEL</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	1,5

Laje	Classificação das lajes quanto à relação entre os lados				Vinculação				Cargas nas lajes							
									Carga permanente (g)			p <sub>ser</sub>	p			
	Carga permanente (g)			p <sub>ser</sub>	p											
	a (vão menor)	b (vão maior)	b/a			Armada	Condições dos Apoios	Modelo	Espessura ARBITRADA inicialmente	Peso próprio	Carregamento	ψ <sub>2</sub>	Carga variável (q)	p <sub>ser</sub>	p	
L1	4,00	6,00	1,5	2 Direções	A	E	A	A	A-E-A-A	0,08	2,0	0,95	0,3	1,5	3,40	4,450

**ARMADA EM DUAS DIREÇÕES**

Determinação da espessura - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES													
f <sub>ck</sub>	E <sub>c</sub>	f <sub>ctm</sub>	m <sub>y</sub>	α <sub>1</sub>	m <sub>0</sub>	Avaliação m <sub>y</sub> x m <sub>x</sub>	l <sub>ef</sub>	K	f(t=0)	f(t=∞)	f <sub>adm</sub>	Avaliação da espessura da laje de acordo com as flechas x f <sub>adm</sub>	Espessura DETERMINADA (h)
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN.m/m)	(s.u)	(kN.m/m)	(s.u)	(cm <sup>3</sup> )	(s.u)	(cm)	(cm)	(cm)	(s.u)	(m)
20,00	21287,37	2,21	3,54	0,051	2,77	m <sub>y</sub> <= m <sub>x</sub>	4267	0,41	0,393	0,912	1,60	Espessura da laje OK	0,08

Cálculo das solicitações - Cargas uniformemem													
a/b	Classificação	Borda				i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>	i <sub>4</sub>	a <sub>c</sub>	b <sub>c</sub>	φ	b <sub>c</sub> <sup>*</sup>
		1	2	3	4								
(s.u)	Isótropa ou Ortótropa	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(m)	(m)	(s.u)	(m)
0,67	Ortótropa	A	E	A	A	0,00	1,50	0,00	0,00	3,10	6,00	0,44	9,05

te distribuídas													
Isótropa							Ortótropa						
m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '	m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '
(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)
-	-	-	-	-	-	-	3,661	3,661	1,608	0,000	-5,492	0,000	0,000

Armadura positiva									
Classe de agressividade Ambiental	c	d <sub>max</sub>	x <sub>max</sub>	x <sub>minb</sub>	A <sub>smax</sub>	A <sub>sminb</sub>	A <sub>smin</sub>	A <sub>s</sub> ADOTADA ma	A <sub>s</sub> ADOTADA mb
I/II/III/IV	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)
I	2,00	5,50	1,038	0,482	2,318	1,077	0,804	2,318	1,077

Dimensionamento da armadura														
Armadura negativa														
c	d	x <sub>m1</sub> '	x <sub>m2</sub> '	x <sub>m3</sub> '	x <sub>m4</sub> '	A <sub>sm1</sub> '	A <sub>sm2</sub> '	A <sub>sm3</sub> '	A <sub>sm4</sub> '	A <sub>smin</sub>	A <sub>s</sub> ADOTADA m1'	A <sub>s</sub> ADOTADA m2'	A <sub>s</sub> ADOTADA m3'	A <sub>s</sub> ADOTADA m4'
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)					
1,50	6,00	0,000	1,461	0,0000	0,0000	0,000	3,265	0,000	0,000	1,200	0,000	3,265	0,000	0,000

DIMENSIONAMENTO - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES		VERIFICAR ESTE RELATÓRIO
<b>RESULTADOS</b>		
Espessura da laje (cm)		8,00
Flecha provável (cm)		0,91
Flecha admissível (cm)		1,60
m <sub>a</sub> (kN.m/m)		3,66
d (cm)		5,50
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		2,32
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>b</sub> (kN.m/m)		1,61
d (cm)		5,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,08
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>1</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>2</sub> ' (kN.m/m)		-5,49
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		3,27
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,20
m <sub>3</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>4</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS	
<b>DADOS INFORMATIVOS</b>	
<b>DADOS DO PROJETO</b>	
Identificação do projeto	L2
Tipologia da edificação	Edifícios residenciais
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	
Aço	CA-50
Concreto	C20
<b>CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL</b>	
Tabela - Classes de agressividade ambiental	CAA I
<b>DADOS GEOMÉTRICOS</b>	
<b>VINCULAÇÕES</b>	
<b>DIMENSÕES</b>	
Comprimento na horizontal (m)	4,00
Comprimento na vertical (m)	6,00
<b>CARREGAMENTOS</b>	
<b>CARGA PERMANENTE - EXCETO PESO PRÓPRIO</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	0,95
<b>CARGA VARIÁVEL</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	1,5

Laje	Classificação das lajes quanto à relação entre os lados				Vinculação				Cargas nas lajes							
									Carga permanente (g)			ψ <sub>2</sub>	Carga variável (q)		P <sub>car</sub>	p
	Espe- sura ARBITRADA inicialmente	Peso próprio	Carregamento	Carregamento	P <sub>car</sub>	p										
	(m)	(m)	(s.u)	1 ou 2 Direções	1	2	3	4	Modelo	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(s.u)	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )	(kN/m <sup>2</sup> )
L2	4,00	6,00	1,5	2 Direções	A	A	A	E	A-A-A-E	0,08	2,0	0,95	0,3	1,5	3,40	4,450

**ARMADA EM DUAS DIREÇÕES**

Determinação da espessura - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES													
f <sub>ck</sub>	E <sub>c</sub>	f <sub>ctm</sub>	m <sub>y</sub>	α <sub>1</sub>	m <sub>2</sub>	Avaliação m <sub>1</sub> x m <sub>2</sub>	l <sub>eq</sub>	K	f(t=0)	f(t=∞)	f <sub>adm</sub>	Avaliação da espessura da laje de acordo com as flechas x f <sub>adm</sub>	Espessura DETERMINADA (h)
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN.m/m)	(s.u)	(kN.m/m)	(s.u)	(cm <sup>3</sup> )	(s.u)	(cm)	(cm)	(cm)	(s.u)	(m)
20,00	21287,37	2,21	3,54	0,051	2,77	m <sub>3</sub> < m <sub>r</sub>	4267	0,41	0,393	0,912	1,60	Espessura da laje OK	0,08

Cálculo das solicitações - Cargas uniformemem													
a/b	Classificação	Borda				i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>	i <sub>4</sub>	a <sub>c</sub>	b <sub>c</sub>	φ	b <sub>c</sub> <sup>*</sup>
		1	2	3	4								
(s.u)	Isótropa ou Ortótropa	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(m)	(m)	(s.u)	(m)
0,67	Ortótropa	A	A	A	E	0,00	0,00	0,00	1,50	3,10	6,00	0,44	9,05

te distribuídas													
Isótropa							Ortótropa						
m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '	m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '
(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)
-	-	-	-	-	-	-	3,661	3,661	1,608	0,000	0,000	0,000	-5,492

Armadura positiva										
Classe de agressividade Ambiental	c	d <sub>ma</sub>	x <sub>ma</sub>	x <sub>mb</sub>	A <sub>ma</sub>	A <sub>mb</sub>	A <sub>smin</sub>	A <sub>s</sub> ADOTADA ma	A <sub>s</sub> ADOTADA mb	
I/II/III/IV	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	
I	2,00	5,50	1,038	0,482	2,318	1,077	0,804	2,318	1,077	

Dimensionamento da armadura														
Armadura negativa														
c	d	x <sub>m1</sub>	x <sub>m2</sub>	x <sub>m3</sub>	x <sub>m4</sub>	A <sub>sm1</sub>	A <sub>sm2</sub>	A <sub>sm3</sub>	A <sub>sm4</sub>	A <sub>sm5</sub>	A <sub>s</sub> ADOTADA m1	A <sub>s</sub> ADOTADA m2	A <sub>s</sub> ADOTADA m3	A <sub>s</sub> ADOTADA m4
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)					
1,50	6,00	0,000	0,000	0,0000	1,4615	0,000	0,000	0,000	3,265	1,200	0,000	0,000	0,000	3,265

DIMENSIONAMENTO - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES		VERIFICAR ESTE RELATÓRIO
<b>RESULTADOS</b>		
Espessura da laje (cm)		8,00
Flecha provável (cm)		0,91
Flecha admissível (cm)		1,60
m <sub>a</sub> (kN.m/m)		3,66
d (cm)		5,50
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		2,32
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>b</sub> (kN.m/m)		1,61
d (cm)		5,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,08
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>1</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>2</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>3</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>4</sub> ' (kN.m/m)		-5,49
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		3,27
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,20

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS	
<b>DADOS INFORMATIVOS</b>	
<b>DADOS DO PROJETO</b>	
Identificação do projeto	L3
Tipologia da edificação	Edifícios residenciais
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	
Aço	CA-50
Concreto	C20
<b>CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL</b>	
Tabela - Classes de agressividade ambiental	CAA I
<b>DADOS GEOMÉTRICOS</b>	
<b>VINCULAÇÕES</b>	
<b>DIMENSÕES</b>	
Comprimento na horizontal (m)	2,00
Comprimento na vertical (m)	3,00
<b>CARREGAMENTOS</b>	
<b>CARGA PERMANENTE - EXCETO PESO PRÓPRIO</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	0,95
<b>CARGA VARIÁVEL</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	2

Laje	Classificação das lajes quanto à relação entre os lados				Vinculação				Cargas nas lajes							
									Carga permanente (g)			p <sub>var</sub>	p			
	a (vão menor) (m)	b (vão maior) (m)	b/a (s.u)	Armada 1 ou 2 Direções	Carga permanente (g)			p <sub>var</sub>	p							
					Espe- sura ARBITRADA inicialmente (m)	Peso próprio (kN/m <sup>2</sup> )	Carregamento (kN/m <sup>2</sup> )			Carregamento (kN/m <sup>2</sup> )	p <sub>var</sub>	p				
L3	2,00	3,00	1,5	2 Direções	E	A	E	A	E-A-E-A	0,08	2,0	0,95	0,3	2,0	3,55	4,950

**ARMADA EM DUAS DIREÇÕES**

Determinação da espessura - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES													
f <sub>ck</sub>	E <sub>s</sub>	f <sub>ctm</sub>	m <sub>y</sub>	α	m <sub>x</sub>	Avaliação m <sub>x</sub> x m <sub>y</sub>	l <sub>eq</sub>	κ	f(t=0)	f(t=∞)	f <sub>ctm</sub>	Avaliação da espessura da laje de acordo com as flechas f <sub>ctm</sub> f(t=∞) x	Espessura DETERMINADA (h)
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN.m/m)	(s.u)	(kN.m/m)	(s.u)	(cm <sup>2</sup> )	(s.u)	(cm)	(cm)	(cm)	(s.u)	(m)
20,00	21287,37	2,21	3,54	0,051	0,72	m <sub>x</sub> <= m <sub>y</sub>	4267	0,41	0,026	0,059	0,80	Espessura da laje OK	0,08

Cálculo das solicitações - Cargas uniformemen														
a/b	Classificação	Borda				i <sub>1</sub>	i <sub>2</sub>	i <sub>3</sub>	i <sub>4</sub>	a <sub>r</sub>	b <sub>r</sub>	φ	b <sub>r</sub> <sup>*</sup>	
		1	2	3	4									
(s.u)	Isótropa ou Ortótropa	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(m)	(m)	(s.u)	(m)	
0,67	Ortótropa	E	A	E	A	1,50	0,00	1,50	0,00	2,00	1,90	0,67	2,32	

te distribuídas													
Isótropa							Ortótropa						
m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '	m	m <sub>a</sub>	m <sub>b</sub>	m <sub>1</sub> '	m <sub>2</sub> '	m <sub>3</sub> '	m <sub>4</sub> '
(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(kN.m/m)
-	-	-	-	-	-	-	0,950	0,950	0,636	-0,953	0,000	-0,953	0,000

Armadura positiva										
Classe de agressividade Ambiental	c	d <sub>ma</sub>	x <sub>ma</sub>	x <sub>mb</sub>	A <sub>sma</sub>	A <sub>smb</sub>	A <sub>smin</sub>	A <sub>S</sub> ADOTADA ma	A <sub>S</sub> ADOTADA mb	
I/II/III/IV	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)
I	2,00	5,50	0,254	0,186	0,566	0,416	0,804	0,804	0,804	

Dimensionamento da armadura														
Armadura negativa														
c	d	x <sub>m1</sub> '	x <sub>m2</sub> '	x <sub>m3</sub> '	x <sub>m4</sub> '	A <sub>sml1</sub> '	A <sub>sml2</sub> '	A <sub>sml3</sub> '	A <sub>sml4</sub> '	A <sub>smin</sub>	A <sub>S</sub> ADOTADA ml1	A <sub>S</sub> ADOTADA ml2	A <sub>S</sub> ADOTADA ml3	A <sub>S</sub> ADOTADA ml4
(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)					
1,50	6,00	0,233	0,000	0,2326	0,0000	0,520	0,000	0,520	0,000	1,200	1,200	0,000	1,200	0,000

DIMENSIONAMENTO - ARMADA EM DUAS DIREÇÕES		VERIFICAR ESTE RELATÓRIO
<b>RESULTADOS</b>		
Espessura da laje (cm)		8,00
Flecha provável (cm)		0,06
Flecha admissível (cm)		0,80
m <sub>a</sub> (kN.m/m)		0,95
d (cm)		5,50
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,57
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>b</sub> (kN.m/m)		0,64
d (cm)		5,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,42
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,80
m <sub>1</sub> ' (kN.m/m)		-0,95
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,52
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,20
m <sub>2</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
m <sub>3</sub> ' (kN.m/m)		-0,95
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,52
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		1,20
m <sub>4</sub> ' (kN.m/m)		0,00
d (cm)		6,00
A <sub>s</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00
A <sub>smin</sub> (cm <sup>2</sup> /m)		0,00

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MACIÇAS	
<b>DADOS INFORMATIVOS</b>	
<b>DADOS DO PROJETO</b>	
Identificação do projeto	L4
Tipologia da edificação	Edifícios residenciais
<b>MATERIAIS UTILIZADOS</b>	
Aço	CA-50
Concreto	C20
<b>CLASSE DE AGRESSIVIDADE AMBIENTAL</b>	
<a href="#">Tabela - Classes de agressividade ambiental</a>	CAA I
<b>DADOS GEOMÉTRICOS</b>	
<b>VINCULAÇÕES</b>	
<b>DIMENSÕES</b>	
Comprimento na horizontal (m)	1,20
Comprimento na vertical (m)	3,00
<b>CARREGAMENTOS</b>	
<b>CARGA PERMANENTE - EXCETO PESO PRÓPRIO</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	0,65
<b>CARGA VARIÁVEL</b>	
Carregamento - kN/m <sup>2</sup>	3

Laje	Classificação das lajes quanto à relação entre os lados				Vinculação				Cargas nas lajes							
									Carga permanente (g)			ψ <sub>2</sub>	Carga variável (q)		P <sub>car</sub>	p
	Espe- sura ARBITRADA inicialmente	Peso próprio	Carregamento	Carregamento	P <sub>car</sub>	p										
	(m)	(kN/m <sup>2</sup> )														
L4	1,20	3,00	2,5	1 Direção	E	A	E	A	E-A-E-A	0,08	2,0	0,65	0,3	3,0	3,55	5,650

**ARMADA EM UMA DIREÇÃO**

Determinação da espessura - ARMADA EM UMA DIREÇÃO												
f <sub>ck</sub>	E <sub>s</sub>	f <sub>ctm</sub>	m <sub>s</sub>	m <sub>br</sub>	Avaliação m <sub>s</sub> , m <sub>br</sub>	l <sub>co</sub>	K	f(t=0)	f(t=∞)	f <sub>adm</sub>	Avaliação da espessura da laje de acordo com as flechas f <sub>adm</sub>	Espessura DETERMINADA (t)
(MPa)	(MPa)	(MPa)	(kN.m/m)	(kN.m/m)	(s.u)	(cm <sup>2</sup> )	(s.u)	(cm)	(cm)	(cm)	(s.u)	(m)
20,00	21287,37	2,21	3,54	0,64	m <sub>a</sub> <= m <sub>r</sub>	4267	1,30	0,011	0,024	0,48	Espessura da laje OK	0,08

Bordas				Dimensionamento da armadura									
				Armadura positiva									
1	2	3	4	m <sub>br</sub>	Classe de agressividade Ambiental	c	d	x	A <sub>s</sub>	A <sub>s,min</sub>	A <sub>s,ADOTADA</sub>	A <sub>s,DISTRIBUIÇÃO</sub>	
(s.u)	(s.u)	(s.u)	(s.u)	(kN.m/m)	I/II/III/IV	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	
E	A	E	A	1,02	I	2,00	5,50	0,272	0,607	1,200	1,200	0,900	

Armadura negativa						
$m_{engaste}$	c	d	$x_{mengaste}$	$A_{smengaste}$	$A_{smín}$	$A_s$ ADOPTADA m <sup>1</sup>
(kN.m/m)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)	(cm <sup>2</sup> /m)
0,00	1,50	6,00	0,000	0,00	1,200	0,000

**DIMENSIONAMENTO - ARMADA EM UMA DIREÇÃO VERIFICAR ESTE RELATÓRIO**
**RESULTADOS**

Espessura da laje (cm)	8,00
Flecha provável (cm)	0,02
Flecha admissível (cm)	0,48
$m_a$ (kN.m/m)	1,02
d (cm)	5,50
$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,61
$A_{smín}$ (cm <sup>2</sup> /m)	1,20
$A_{distribuição}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,90
$m_{engaste}^1$ (kN.m/m)	0,00
d (cm)	6,00
$A_s$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,00
$A_{smín}$ (cm <sup>2</sup> /m)	0,00

**ANEXO A – Tabelas – Cargas sobrepostas máximas: *STEEL DECK* MF-50  
e *STEEL DECK* MF-75 (QUEIROZ et alli, 2012, p. 64-65)**

## STEEL DECK MF-50

### Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas ( $\text{kN/m}^2$ )

Aço ZAR-280 -  $f_y = 280$  MPa

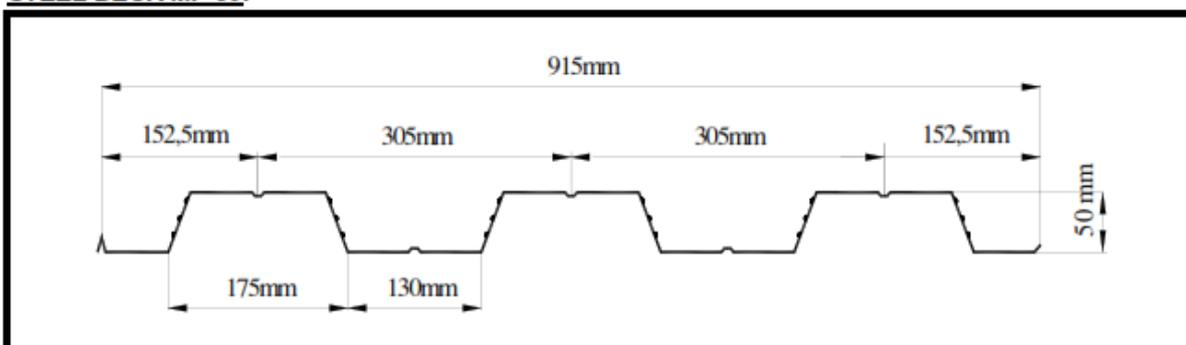
Espes- sura ( mm )	Vãos Máximos Sem Escoramento			Peso Próprio ( $\text{kN/m}^2$ )	Momento Inércia ( $10^7 \text{mm}^4$ )	Vãos da Laje Mista com Steel Deck MF-50 ( mm )																	
	Simples ( mm )	Duplo ( mm )	Triplô ( mm )			Balanco ( mm )	1.800	1.900	2.000	2.100	2.200	2.300	2.400	2.500	2.600	2.650	2.700	2.800	2.900	3.000	3.100	3.200	
<b>Carga Sobreposta Máxima ( <math>\text{kN/m}^2</math> )</b>																							
<b>100</b>	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	9,31	8,14	7,14	6,28	5,54	4,89	4,32	3,82	3,38	3,16	2,99	2,83	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
0,80	2.550	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,68	10,24	9,01	7,96	7,04	6,25	5,55	4,94	4,40	4,15	3,92	3,49	3,10	2,75	2,44	2,16	
0,95	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,45	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,19	3,77	3,38	
<b>110</b>	1.800	2.700	2.800	900	2,08	6,89	10,56	9,23	8,10	7,13	6,29	5,55	4,91	4,34	3,84	3,61	3,39	3,00	2,64	2,32	2,02	1,76	
0,80	2.400	3.050	3.150	1.050	2,10	7,35	13,25	11,62	10,23	9,03	8,00	7,10	6,31	5,61	5,00	4,72	4,45	3,96	3,53	3,13	2,78	2,46	
0,95	3.050	3.650	3.650	1.400	2,13	8,19	18,64	16,39	14,48	12,84	11,42	10,18	9,10	8,15	7,31	6,93	6,57	5,90	5,31	4,77	4,29	3,85	
<b>120</b>	1.650	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,98	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,80	3,36	2,96	2,60	2,27	1,96	
0,80	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,82	13,00	11,44	10,10	8,95	7,94	7,06	6,28	5,60	5,28	4,99	4,44	3,95	3,51	3,12	2,76	
0,95	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,33	16,20	14,36	12,77	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32	
<b>130</b>	1.490	2.500	2.600	850	2,55	11,16	13,06	11,42	10,02	8,82	7,78	6,88	6,08	5,38	4,76	4,45	4,21	3,72	3,28	2,86	2,52	2,19	
0,80	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,16	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,92	4,38	3,89	3,46	3,06	
0,95	2.800	3.400	3.400	1.350	2,60	13,19	20,00	20,00	17,91	15,89	14,13	12,61	11,28	10,10	9,06	8,59	8,14	7,32	6,59	5,92	5,33	4,79	
<b>140</b>	1.350	2.450	2.500	800	2,79	13,85	14,31	12,52	10,99	9,67	8,53	7,54	6,67	5,90	5,23	4,91	4,62	4,08	3,60	3,16	2,77	2,41	
0,80	1.850	2.750	2.800	1.000	2,80	14,72	17,96	15,75	13,87	12,25	10,85	9,63	8,57	7,63	6,80	6,42	6,06	5,40	4,81	4,27	3,79	3,36	
0,95	2.700	3.300	3.300	1.300	2,83	16,32	20,00	20,00	19,63	17,41	15,49	13,82	12,36	11,08	9,94	9,42	8,93	8,03	7,23	6,50	5,85	5,26	
<b>150</b>	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,93	15,57	13,61	11,95	10,52	9,28	8,20	7,26	6,42	5,69	5,35	5,03	4,44	3,92	3,44	3,02	2,63	
0,80	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,54	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,66	4,13	3,66	
0,95	2.600	3.200	3.250	1.250	3,07	19,90	20,00	20,00	20,00	18,94	16,85	15,04	13,45	12,05	10,82	10,25	9,72	8,74	7,86	7,08	6,37	5,72	
<b>160</b>	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,82	14,71	12,91	11,37	10,03	8,87	7,84	6,95	6,15	5,78	5,44	4,81	4,24	3,73	3,26	2,84	
0,80	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,69	20,00	18,51	16,30	14,40	12,76	11,33	10,07	8,97	8,00	7,55	7,13	6,35	5,66	5,04	4,47	3,96	
0,95	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	20,00	20,00	20,00	20,00	18,21	16,25	14,53	13,03	11,69	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,88	6,19	
<b>170</b>	1.050	2.050	2.150	750	3,49	24,43	18,07	15,81	13,88	12,22	10,78	9,53	8,43	7,47	6,61	6,22	5,85	5,17	4,56	4,01	3,51	3,08	
0,80	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,87	20,00	19,69	17,51	15,47	13,71	12,17	10,83	9,64	8,60	8,12	7,66	6,83	6,09	5,42	4,81	4,26	
0,95	2.450	3.050	3.050	1.200	3,54	28,55	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	17,46	15,62	14,00	12,57	11,91	11,29	10,16	9,14	8,23	7,41	6,66	

## STEEL DECK MF-75 Tabela de Cargas Sobrepostas Máximas ( $kN/m^2$ )

Áço ZAR-280 -  $f_y = 280$  MPa

Espes- sura (mm)	Vãos Máximos Sem Escoramento			Peso Próprio ( $kN/m^2$ )	Momento Inércia ( $10^5 mm^4$ )	Vãos da Laje Mista com Steel Deck MF-75 ( mm )																
	Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplô (mm)			Balanço (mm)	2.000	2.100	2.300	2.400	2.500	2.600	2.700	2.800	2.900	3.000	3.150	3.300	3.500	3.750	4.000	4.250
130	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	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	0,88
0,80	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	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	1,53
0,95	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	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	2,82
140	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	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	0,99
0,80	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	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	1,70
0,95	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,61	3,14
150	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	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	1,09
0,80	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	12,45	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,96	3,14	2,45	1,88
0,95	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19	3,46
160	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	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	1,20
0,80	2.500	3.300	3.400	1.250	2,98	20,51	18,83	16,84	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	2,06
0,95	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,80	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	3,78
170	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	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	1,30
0,80	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	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	2,23
0,95	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	18,94	18,14	16,54	15,12	13,88	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96	4,09
180	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	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	1,41
0,80	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	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	2,41
0,95	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35	4,41
190	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	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	1,52
0,80	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	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	2,59
0,95	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	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	4,73
200	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	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	1,62
0,80	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	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	2,77
0,95	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	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	5,05

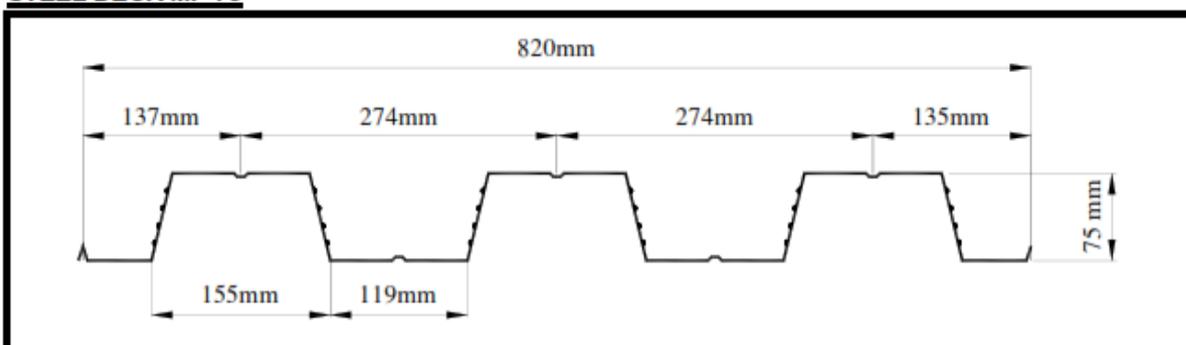
**ANEXO B – Tabelas – Propriedades físicas *STEEL DECK* MF-50 e  
*STEEL DECK* MF-75 (METFORM SA, 2006, p. 3-4)**

**STEEL DECK MF-50:****PROPRIEDADES FÍSICAS:**

Esp. Final mm	Esp. Projeto mm	Altura Total mm	Peso kg/m <sup>2</sup>	Reações Máximas de Apoio		Módulo de Resistência mm <sup>3</sup>	Inércia p/ Deformação Mm <sup>4</sup>	Área de Aço mm <sup>2</sup>	Centro Gravi- dades mm
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	52,26	8,39	4,95	14,67	14.599	449.419	997	26,13
0,95	0,91	52,41	9,97	6,51	20,89	18.778	562.372	1.193	26,21
1,25	1,21	52,71	13,11	11,41	35,43	27.791	786.502	1.587	26,36

Propriedades para largura de 1.000 mm;

Material: aço **ZAR-280** (ASTM A-653 gr.40), limite de escoamento: **280MPa**, galvanização **Z-275**.

**STEEL DECK MF-75****PROPRIEDADES FÍSICAS:**

Esp. Final mm	Esp. Projeto mm	Altura Total mm	Peso kg/m <sup>2</sup>	Reações Máximas de Apoio		Módulo de Resistência mm <sup>3</sup>	Inércia p/ Deformação Mm <sup>4</sup>	Área de Aço mm <sup>2</sup>	Centro Gravi- dades Mm
				Externo kN	Interno kN				
0,80	0,76	74,98	9,37	6,76	21,01	22.710	1.017.138	1.112	37,49
0,95	0,91	75,13	11,12	8,90	29,70	28.788	1.254.749	1.332	37,57
1,25	1,21	75,43	14,62	14,62	49,53	40.599	1.666.741	1.771	37,72

Propriedades para largura de 1.000 mm;

Material: aço **ZAR-280** (ASTM A-653 gr.40), limite de escoamento: **280MPa**, galvanização **Z-275**.

**ANEXO C – Tabelas – Consumo estimado de concreto e armadura de  
fissuração em tela soldada *STEEL DECK* MF-50  
e *STEEL DECK* MF-75 (METFORM SA, 2012)**

**STEEL DECK MF-50****Consumo Estimado de Concreto - Tipo de Armadura de Fissuração em Tela Soldada**

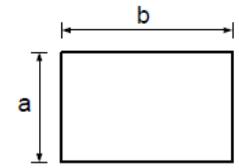
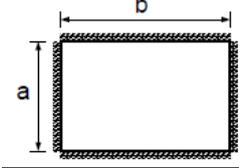
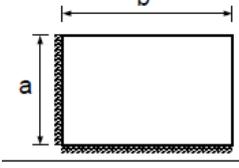
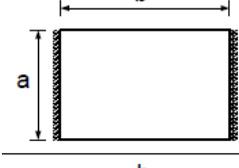
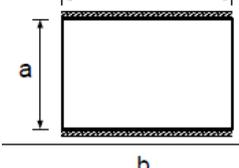
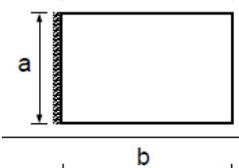
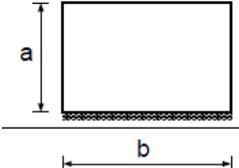
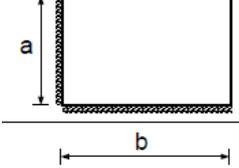
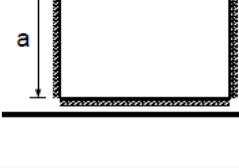
Altura total da laje (mm)	Consumo de Concreto (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m <sup>2</sup> )
100	0,0750	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
110	0,0850	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
120	0,0950	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
130	0,1050	Q - 92	ø4,2 x ø4,2 - 150x150	1,48
140	0,1150	Q - 92	ø4,2 x ø4,2 - 150x150	1,48
150	0,1250	Q - 113	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	1,80
160	0,1350	Q - 113	ø4,2 x ø4,2 - 100x100	1,80
170	0,1450	Q - 138	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	2,20

**STEEL DECK MF-75****Consumo Estimado de Concreto - Tipo de Armadura de Fissuração em Tela Soldada**

Altura total da laje (mm)	Consumo de Concreto (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> )	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m <sup>2</sup> )
130	0,0925	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
140	0,1025	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
150	0,1125	Q - 75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	1,21
160	0,1225	Q - 92	ø4,2 x ø4,2 - 150x150	1,48
170	0,1325	Q - 113	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	1,80
180	0,1425	Q - 113	ø3,8 x ø3,8 - 100x100	1,80
190	0,1525	Q - 138	ø4,2 x ø4,2 - 100x100	2,20
200	0,1625	Q - 138	ø4,2 x ø4,2 - 100x100	2,20

**ANEXO D – Tabela – Valores de  $\alpha$  para lajes armadas em duas direções  
no regime elástico (CAMPOS FILHO, 2011, p. 26)**

Tabela – Valores de  $\alpha$  para lajes armadas em duas direções (regime elástico)

a/b			0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	$m_a$		0,099	0,086	0,073	0,061	0,051	0,042
	$m_b$		0,032	0,037	0,040	0,042	0,043	0,042
	$m_a$		0,041	0,038	0,034	0,029	0,025	0,021
	$m_b$		0,010	0,013	0,017	0,018	0,020	0,021
	$m_a'$		0,084	0,080	0,074	0,067	0,059	0,052
	$m_b'$		0,058	0,058	0,058	0,057	0,055	0,052
	$m_a$		0,057	0,052	0,045	0,039	0,033	0,027
	$m_b$		0,016	0,020	0,024	0,026	0,027	0,027
	$m_a'$		0,119	0,111	0,101	0,091	0,080	0,070
	$m_b'$		0,082	0,082	0,080	0,078	0,074	0,070
	$m_a$		0,084	0,065	0,049	0,037	0,027	0,020
	$m_b$		0,036	0,038	0,039	0,037	0,034	0,031
	$m_b'$		0,119	0,111	0,102	0,091	0,080	0,070
	$m_a$		0,042	0,041	0,039	0,037	0,034	0,031
	$m_b$		0,008	0,010	0,013	0,016	0,018	0,020
	$m_a'$		0,084	0,083	0,082	0,078	0,074	0,070
	$m_a$		0,091	0,075	0,060	0,048	0,037	0,030
	$m_b$		0,034	0,038	0,040	0,039	0,038	0,036
	$m_b'$		0,122	0,117	0,110	0,102	0,093	0,084
	$m_a$		0,060	0,056	0,051	0,046	0,040	0,036
	$m_b$		0,015	0,019	0,023	0,026	0,028	0,030
	$m_a'$		0,122	0,116	0,109	0,101	0,093	0,084
	$m_a$		0,042	0,040	0,037	0,033	0,029	0,026
	$m_b$		0,009	0,012	0,015	0,018	0,019	0,021
	$m_a'$		0,085	0,083	0,079	0,074	0,068	0,062
	$m_b'$		0,056	0,057	0,058	0,058	0,057	0,055
	$m_a$		0,055	0,048	0,040	0,033	0,026	0,021
	$m_b$		0,018	0,023	0,025	0,027	0,026	0,026
	$m_a'$		0,114	0,102	0,091	0,088	0,066	0,055
	$m_b'$		0,082	0,081	0,078	0,074	0,068	0,062

**ANEXO E – Tabelas – Valores de  $\kappa$  para lajes armadas em uma direção e duas direções (CAMPOS FILHO, 2011, p. 8-9)**

Tabela – Valores de  $\kappa$  para lajes armadas em uma direção

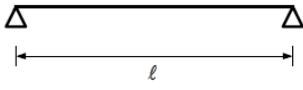
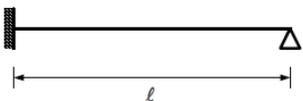
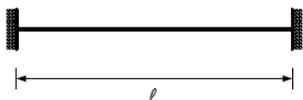
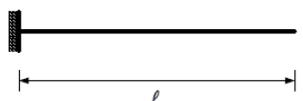
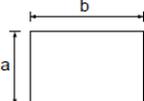
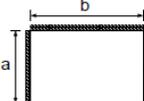
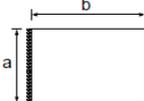
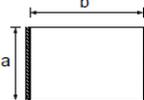
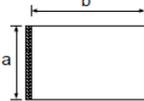
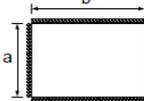
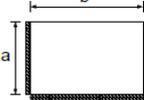
	1,30
	0,53
	0,26
	12,5

Tabela – Valores de  $\kappa$  para lajes armadas em duas direções

a/b	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
	0,99	0,85	0,71	0,59	0,48	0,40
	0,25	0,23	0,21	0,18	0,15	0,13
	0,46	0,41	0,36	0,30	0,25	0,21
	0,83	0,63	0,48	0,35	0,26	0,19
	0,25	0,25	0,24	0,23	0,21	0,19
	0,91	0,73	0,58	0,46	0,35	0,28
	0,48	0,44	0,41	0,36	0,31	0,28
	0,24	0,24	0,23	0,20	0,18	0,16
	0,44	0,38	0,32	0,25	0,20	0,16

**ANEXO F – Tabela – Áreas de armadura por unidade de comprimento  
(cm<sup>2</sup>/m), para diferentes bitolas e espaçamentos (CAMPOS FILHO, 2011,  
p. 13)**

**Tabela – Áreas de armadura por unidade de comprimento (cm<sup>2</sup>/m),  
para diferentes bitolas e espaçamentos**

	10cm	11cm	12cm	13cm	14cm	15cm	16cm	17cm	18cm	19cm	20cm	21cm	22cm	23cm	24cm	25cm
φ4,2	1,39	1,26	1,16	1,07	0,99	0,93	0,87	0,82	0,77	0,73	0,70	0,66	0,63	0,60	0,58	0,56
φ4,6	1,66	1,51	1,38	1,28	1,19	1,11	1,04	0,98	0,92	0,87	0,83	0,79	0,75	0,72	0,69	0,66
φ5	1,96	1,78	1,63	1,51	1,40	1,31	1,23	1,15	1,09	1,03	0,98	0,93	0,89	0,85	0,82	0,78
φ5,5	2,38	2,16	1,98	1,83	1,70	1,59	1,49	1,40	1,32	1,25	1,19	1,13	1,08	1,03	0,99	0,95
φ6	2,83	2,57	2,36	2,18	2,02	1,89	1,77	1,66	1,57	1,49	1,42	1,35	1,29	1,23	1,18	1,13
φ6,3	3,12	2,84	2,60	2,40	2,23	2,08	1,95	1,84	1,73	1,64	1,56	1,49	1,42	1,36	1,30	1,25
φ6,4	3,22	2,93	2,68	2,48	2,30	2,15	2,01	1,89	1,79	1,69	1,61	1,53	1,46	1,40	1,34	1,29
φ7	3,85	3,50	3,21	2,96	2,75	2,57	2,41	2,26	2,14	2,03	1,93	1,83	1,75	1,67	1,60	1,54
φ8	5,03	4,57	4,19	3,87	3,59	3,35	3,14	2,96	2,79	2,65	2,52	2,40	2,29	2,19	2,10	2,01
φ9,5	7,09	6,45	5,91	5,45	5,06	4,73	4,43	4,17	3,94	3,73	3,55	3,38	3,22	3,08	2,95	2,84
φ10	7,85	7,14	6,54	6,04	5,61	5,23	4,91	4,62	4,36	4,13	3,93	3,74	3,57	3,41	3,27	3,14
φ12,5	12,27	11,15	10,23	9,44	8,76	8,18	7,67	7,22	6,82	6,46	6,14	5,84	5,58	5,33	5,11	4,91