

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Departamento de Engenharia de Estruturas
Curso de Especialização em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e
Aço

Maxwell Sousa Costa

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM
UM PAVIMENTO TÍPICO**

Belo Horizonte
2021

Maxwell Sousa Costa

**ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM
UM PAVIMENTO TÍPICO**

Monografia de especialização apresentada ao Departamento de Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Barreto Caldas

Belo Horizonte

2021

C837a

Costa, Maxwell Sousa.

Análise da distribuição das vigas mistas de aço e concreto em um pavimento típico [recurso eletrônico] / Maxwell Sousa Costa. – 2021.
1 recurso online (35 f. : il., color.) : pdf.

Orientador: Rodrigo Barreto Caldas.

“Monografia apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Estruturas”

Anexos: f. 28-35.

Bibliografia: f.27.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

1. Engenharia de estruturas. 2. Construção mista. 3. Vigas. 4. Lajes.
I. Caldas, Rodrigo Barreto. II. Universidade Federal de Minas Gerais.
Escola de Engenharia. III. Título.

CDU: 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOAL DE ENGENHARIA

CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO

ATA DE DEFESA MAXWELL SOUSA COSTA

ANÁLISE DA DISTRIBUIÇÃO DAS VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO EM UM PAVIMENTO TÍPICO

Trabalho Final submetido à Banca Examinadora, como parte dos requisitos necessários para obtenção do certificado de Especialista em ANÁLISE E DIMENSIONAMENTO DE ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO E AÇO, área de concentração ENGENHARIA DE ESTRUTURAS.

Prof. Rodrigo Barreto Caldas - Universidade Federal de Minas Gerais

Avaliador 1 - Orientador Nota: 90 (noventa pontos)

Prof. Rafael Eclache Moreira de Camargo - Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Avaliador 2 Nota: 90 (noventa pontos)

Aprovada em 10 de agosto de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Membro de comissão**, em 20/08/2021, às 10:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



Documento assinado eletronicamente por **Rafael Eclache Moreira de Camargo, Usuário Externo**, em 20/08/2021, às 10:59, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 5º do [Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0881291** e o código CRC **7708A3F5**.

RESUMO

O desenvolvimento econômico e técnico-científico na construção civil fez com que surgissem diversos sistemas construtivos e estruturais no decorrer do tempo, dentre eles o sistema formado por elementos mistos de aço-concreto, em que se aproveita das características próprias dos materiais: a resistência à tração do aço e a resistência à compressão do concreto. Além disso, as estruturas mistas apresentam algumas vantagens, entre as quais pode-se destacar a redução do peso total da estrutura. Um dos fatores que contribui para essa redução é a disposição das vigas mistas secundárias nos pavimentos. A proposta desse trabalho é avaliar se o método indicado no livro *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto* para a distribuição mais econômica das vigas mistas secundárias em um piso típico de edificação é adequado. A avaliação é feita por meio do dimensionamento das lajes e vigas mistas com a variação das dimensões do piso, da sobrecarga e das posições das vigas secundárias. Os resultados demonstram que o peso total de aço, na maior parte dos casos, é menor quando as vigas secundárias estão no sentido do menor vão e que o método proposto no livro citado não garante uma estrutura mais econômica.

Palavras-chave: *sistema misto de aço-concreto; disposição das vigas mistas; lajes mistas; dimensionamento estrutural.*

ABSTRACT

The economic and technical-scientific development in civil construction has led to the emergence of various construction and structural systems over time, among them the system formed by composite elements of steel-concrete, which takes advantage of the specific characteristics of materials: resistance to steel tensile and concrete compressive strength. In addition, composite structures have some advantages, in which the reduction in the total weight of the structure can be highlighted. One of the factors that contributes to this reduction is the arrangement of composite secondary beams on the floors. The objective of this work is to evaluate if the method for the most economical distribution of secondary composite beams in a typical building floor indicated in the book *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto* is adequate. The evaluation is carried out through the design of slabs and composite beams with the variation of the dimensions of the floor, the occupancy loads and the positions of the secondary beams. The results have demonstrated that the total weight of steel, in most cases, is lower when the secondary beams are in the direction of the shortest floor's span and the method proposed in the named book does not guarantee a more economical structure.

Keywords: *composite steel-concrete system; arrangement of composite beams; composite slabs; structural design.*

LISTA DE FIGURAS

Figura 3.1 - Laje mista de aço e concreto.....	9
Figura 3.2 - Seção transversal típica de uma viga mista de aço e concreto	11
Figura 3.3 - Determinação da largura efetiva da laje	12
Figura 3.4 - Diagrama de deformação conforme tipo de interação	13
Figura 3.5 - Determinação dos módulos de resistência elástico.....	16
Figura 4.1 – Representação do piso típico avaliado	19
Figura 4.2 – Parte da interface da planilha de dimensionamento das lajes mistas	20
Figura 4.3 – Apresentação na planilha dos esforços solicitantes calculados.....	21
Figura 4.4 – Dados iniciais da planilha de dimensionamento da viga mista.....	21
Figura 4.5 – Verificações aos estados-limites últimos e de serviço do perfil de aço.....	22
Figura 4.6 – Verificação dos perfis e dos valores do grau de interação.....	23

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	6
1. INTRODUÇÃO	8
2. OBJETIVO	8
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	9
3.1. Lajes Mistas de Aço e Concreto	9
3.1.1 Dimensionamento da laje mista.....	10
3.2. Vigas Mistas de Aço e Concreto	10
3.2.1 Largura efetiva da laje	11
3.2.2 Interação do perfil de aço com a laje de concreto	12
3.2.3 Dimensionamento ao momento fletor	13
3.2.4 Determinação do momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd})	14
3.2.5 Dimensionamento à força cortante	16
3.2.6 Estados-limites de serviço – Flecha.....	17
4. DESENVOLVIMENTO	18
4.1. Distribuição Econômica das Vigas Mistas	18
4.2. Apresentação do Estudo de Caso.....	18
4.2.1 Considerações e carregamentos.....	19
4.2.2 Dimensionamento das lajes e vigas mistas.....	19
4.3. Análise dos Resultados.....	23
5. CONCLUSÃO	266
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	277
Anexo A - Especificações técnicas das formas MF-50 e MF-75 da Metform	288
A .1. MF-50	288
A.2. MF-75	299
Anexo B – Dimensionamento da viga mista secundária utilizando a planilha de cálculo	30
B .1. Planilha de dimensionamento da laje mista e cálculo dos esforços solicitantes.....	30
B.2. Planilha de dimensionamento da viga mista.....	32

1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento econômico e técnico-científico na construção civil fez com que surgissem diversos sistemas construtivos e estruturais ao longo do tempo. Após uma ampla utilização de estruturas em aço e concreto armado, passou-se a utilizar também o sistema formado por elementos mistos em aço-concreto de forma a permitir um melhor aproveitamento das características próprias de cada um dos materiais, no caso do aço a resistência à tração e no caso do concreto a resistência à compressão.

A adesão às estruturas mistas pela construção civil brasileira tem crescido nos últimos anos devido às grandes vantagens que esse sistema apresenta. Dentre essas vantagens destacam-se a possibilidade de vencer vãos maiores, redução do peso total da estrutura, redução dos prazos de execução e a racionalização dos recursos.

Um dos fatores que contribui para a redução do peso total da estrutura é a disposição dos elementos estruturais (vigas mistas) nos pavimentos das edificações. FAKURY *et al.* (2016) propõe um método para que de forma simplificada o projetista possa definir a melhor disposição das vigas mistas secundárias nos pisos das edificações, com o intuito de buscar sempre o menor custo. Esse método resume-se em escolher a fôrma de aço de menor espessura e adotar o critério de menor comprimento total de vigas secundárias. Caso as soluções encontradas se igualem, um segundo critério deverá ser aplicado, que é o que prevê o menor peso próprio da laje.

No Brasil o sistema misto aço-concreto é normatizado pela mesma norma de estruturas de aço, a ABNT NBR 8800:2008, que estabelece os requisitos básicos de projeto à temperatura ambiente para esses dois tipos de sistemas estruturais.

2. OBJETIVO

A proposta desse trabalho é avaliar por meio do dimensionamento estrutural das vigas mistas de aço e concreto, se o método proposto no livro *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto* (FAKURY *et al.*, 2016) para a distribuição mais econômica das vigas mistas secundárias em um piso típico de edificação é adequado.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO

As lajes mistas são elementos estruturais constituídos por fôrmas de aço (*steel deck*) de seção trapezoidal ou reentrante, conformadas a frio e preenchidas com concreto. A fôrma possui mossas ou reentrâncias para garantir a interação entre o concreto e o aço. Durante a fase de construção, ou seja, antes da cura do concreto, a fôrma de aço deve ser capaz de suportar isoladamente as ações atuantes. Já na fase final, a fôrma e o concreto combinam-se constituindo um único elemento estrutural, de modo que a forma de aço trabalhe como armadura positiva da laje na direção das nervuras. Usualmente próximo a face superior do concreto coloca-se uma armadura em tela soldada de aço para evitar fissuras oriundas de retração ou variações de temperatura (FAKURY *et al.*, 2016).

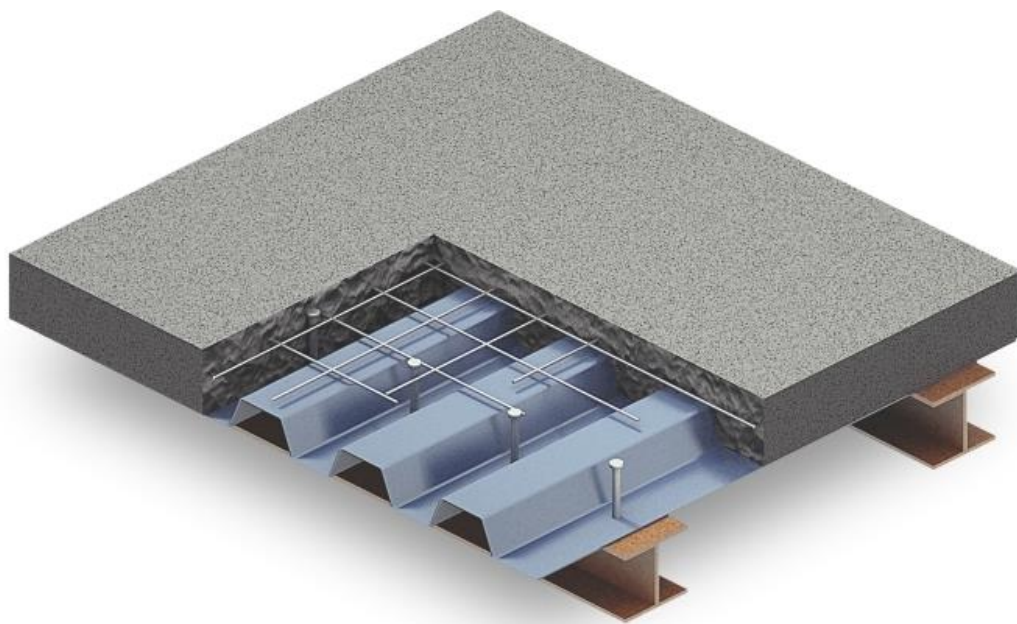


Figura 3.1 – Laje mista de aço e concreto

Fonte: ENGENHARIA E ETC (2015).¹

Normalmente, as lajes mistas dispensam escoramentos, desde que sejam respeitados os vãos máximos para a fôrma de aço utilizada. A solução apresenta

¹ Disponível em: < <https://engenhariaetc.wordpress.com/2015/06/14/steel-deck-tecnologia-de-lajes-mistas-que-dispensa-escoramento/>>. Acesso em: 11 jan. 2021

facilidade para a passagem dos dutos para instalações e, em contrapartida, pede a fixação de um forro inferior.

3.1.1 Dimensionamento da laje mista

Para o dimensionamento da laje mista aos estados-limites últimos deve-se considerar tanto a fase inicial, no qual a fôrma de aço precisa ser capaz de suportar de forma isolada as ações atuantes durante a construção, quanto a fase final, onde todo o carregamento é sustentado pelo sistema misto de aço e concreto.

Um dos métodos de dimensionamento é a utilização de tabelas fornecidas pelos próprios fabricantes das fôrmas. Nesse trabalho, serão utilizadas como referência as tabelas das fôrmas MF-50 e MF-75 da Metform (vide Anexo A), sendo 50 e 75 as alturas nominais, em milímetros, das nervuras das fôrmas de aço trapezoidais.

A verificação inicial consiste em obter o vão máximo sem escoramento, podendo ele ser simples, duplo, triplo ou até mesmo um balanço. Caso o vão seja superior ao vão máximo sem escoramento indicado na tabela, a fôrma deverá ser escorada durante a fase de construção. A verificação da fase final se resume na obtenção da máxima carga uniformemente distribuída sobreposta que pode atuar em determinado vão, entre as vigas de suporte. Durante essa fase, a laje será considerada como simplesmente apoiada (caso das tabelas das fôrmas da Metform).

Nas tabelas de dimensionamento do Anexo A, o peso próprio da laje, que está com seu valor característico, foi determinado tendo como referência a massa específica do concreto igual a 2.400kg/m^3 . As cargas sobrepostas, que também estão com seu valor característico, não devem incluir o peso próprio da laje mista. A resistência característica à compressão do concreto, f_{ck} , deve estar entre 20 MPa e 50 MPa. Por fim, as lajes com altura total de 100 mm e 130 mm para MF-50 e MF-75, respectivamente, não podem ser adotadas para lajes de piso, podendo as mesmas serem apenas utilizadas para lajes de forro.

Quanto aos estados-limites de serviço as tabelas da Metform já atendem os deslocamentos máximos permitidos.

3.2. VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO

Caracteriza-se como viga mista, um perfil metálico conectado a uma laje de concreto convencional ou com fôrma de aço incorporada trabalhando de forma solidária ao momento fletor. Para que a interação entre esses materiais seja garantida são necessários elementos que transmitam esforços de um ao outro. Os

elementos de aço que proporcionam essa função são conhecidos como conectores de cisalhamento, que são soldados na mesa superior da viga e embutidos na laje. Na Figura 3.2 é representada a seção transversal de uma viga mista de aço-concreto.

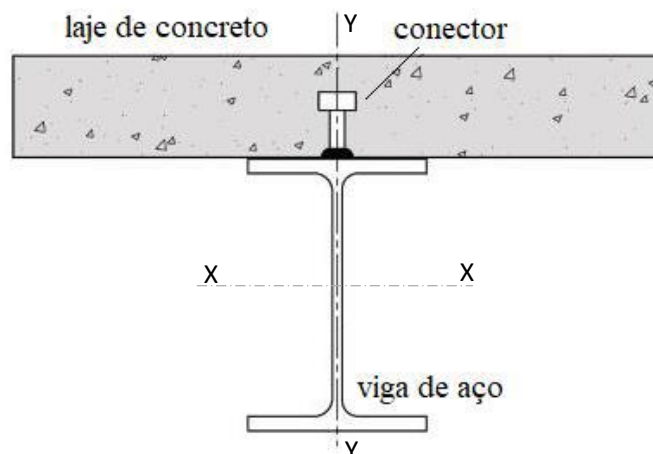


Figura 3.2 – Seção transversal típica de uma viga mista de aço e concreto

Para que os cálculos a serem apresentados nesse trabalho sejam válidos, os perfis de aço das vigas devem ser simétricos em relação ao eixo Y-Y (vide Figura 3.2). Já em relação ao eixo X-X podem ser utilizados perfis simétricos ou assimétricos. Além disso, os perfis das vigas mistas não podem ter alma esbelta, ou seja, a relação entre a altura e a espessura da alma (h/t_w) deve ser inferior ou igual a $5,70\sqrt{E_a/f_y}$, na qual E_a e f_y são o módulo de elasticidade e a resistência ao escoamento do aço, respectivamente.

3.2.1 Largura efetiva da laje

O conceito de largura efetiva da laje leva em consideração o efeito *shear lag*, isto é, o sistema com vigas mistas fica sujeito a deformações de cisalhamento no plano da laje de concreto, o que gera variações na distribuição das tensões normais ao longo da largura da mesa. A tensão máxima de compressão é máxima sobre a mesa superior do perfil e decresce de forma não-linear à medida que se afasta dessa mesa. Para fins práticos é usual substituir o diagrama de tensão não uniforme por um diagrama com tensão constante.

A NBR 8800:2008 admite tomar a largura efetiva da laje, de cada lado da linha de centro da viga, como igual ao menor dos seguintes valores:

- 1/8 do vão da viga mista, considerado entre linhas de centros dos apoios;
- Metade da distância entre a linha de centro da viga analisada e a linha de centro da viga adjacente.
- Distância da linha de centro da viga à borda de uma laje em balanço.

A Figura 3.3 ilustra a determinação da largura efetiva de uma viga de extremidade (b_{ext}) e de uma viga interna (b_{int}):

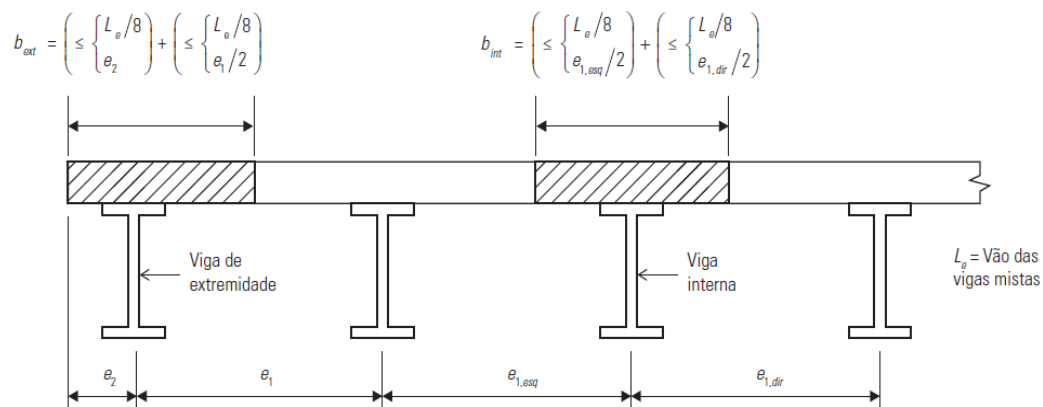


Figura 3.3 – Determinação da largura efetiva da laje

Fonte: FAKURY *et.al* (2016)

3.2.2 Interação do perfil de aço com a laje de concreto

Segundo FAKURY *et al.* (2016), os conectores de cisalhamento são os elementos que asseguram o funcionamento da viga mista. Caso não exista uma ligação ou atrito na interface do perfil de aço com a laje de concreto, ocorrerá um deslizamento na superfície de contato entre ambas, sendo assim a laje e a viga trabalharão isoladamente à flexão. Com a utilização dos conectores, surgirá uma força horizontal que impossibilita ou reduz consideravelmente o deslizamento relativo na superfície de contato entre o perfil e o concreto, garantindo o trabalho conjunto da seção.

Se o número de conectores for suficiente para impedir integralmente o deslizamento na superfície de contato, a laje e a viga deformam-se como um só elemento, o que caracteriza uma viga mista com interação completa. Nesse caso o diagrama de deformações apresenta apenas uma linha neutra.

Quando ocorre um deslizamento relativo ao nível da ligação aço-concreto, ou seja, os conectores não são capazes de transmitir todo o fluxo de cisalhamento, diz-se que a viga mista possui interação parcial. Nesse caso existem duas linhas neutras com posições dependentes do grau de interação entre os dois elementos.

A Figura 3.4 apresenta os diagramas de deformações para as três situações de interação entre os elementos em um sistema misto.

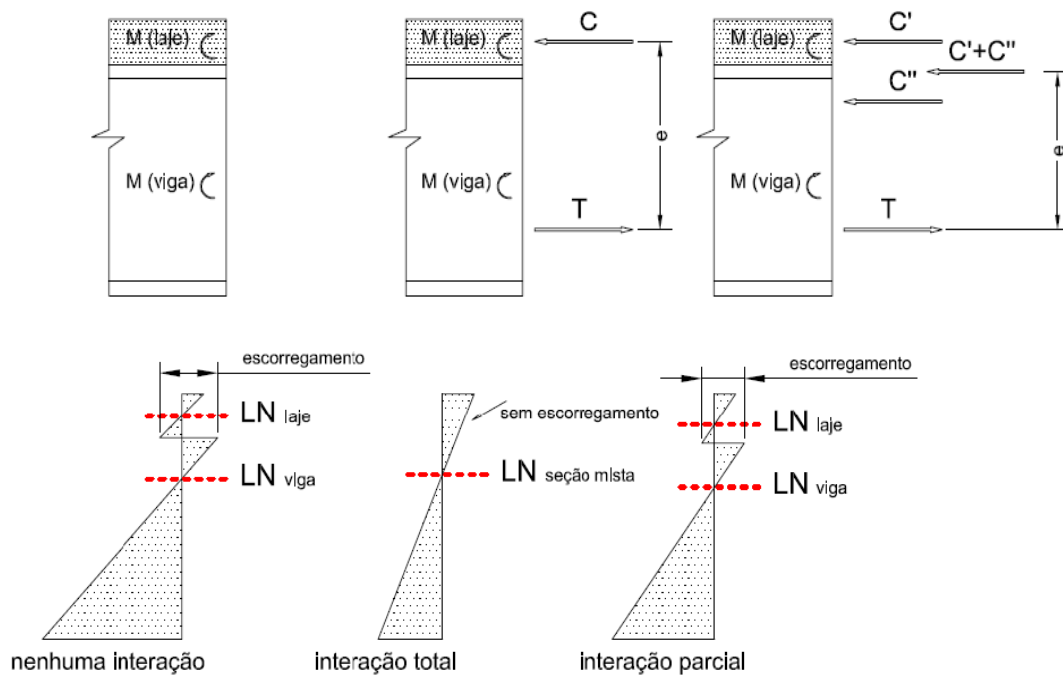


Figura 3.4 – Diagrama de deformação conforme tipo de interação

Fonte: QUEIROZ (2012)

3.2.3 Dimensionamento ao momento fletor

O estado-limite último provocado pelo momento fletor está associado apenas à flambagem local da alma (FLA) da viga de aço, pois como a mesa superior está continuamente conectada à laje por meio dos conectores de cisalhamento, a flambagem lateral com torção (FLT) não ocorre. Além disso, como a laje de concreto é o elemento principal de resistência à compressão, a flambagem local da mesa (FLM) não representa um estado-limite último, ainda que a mesa superior esteja comprimida.

A ocorrência ou não da flambagem local da alma está associada à relação da altura h com a espessura t_w da própria alma do perfil. Sendo assim, se:

- $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$, não ocorre FLA.
- $3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$, pode ocorrer FLA.

Pode-se considerar então como estado-limite último o esmagamento da face superior da laje de concreto ou o início do escoamento da face inferior do perfil de aço.

Para o dimensionamento de uma viga mista o momento fletor solicitante de cálculo M_{Sd} deve ser menor ou igual ao momento fletor resistente de cálculo M_{Rd} . No caso de utilização de laje mista, será considerado apenas o concreto acima do topo das nervuras para determinação do momento fletor resistente. Vale ressaltar também, que o valor de M_{Rd} é determinado com base no grau de interação entre o perfil e a laje, fator α , calculado pela seguinte equação:

$$\alpha = \frac{nQ_{Rd}}{F_{hd}} \quad (3.1)$$

Na qual n é o número de conectores de cisalhamento, Q_{Rd} é a força resistente de cálculo de um conector e F_{hd} é o esforço horizontal de cálculo. Se:

- $\alpha \geq 1$, viga mista com interação completa.
- $\alpha_{min} \leq \alpha < 1$, viga mista com interação parcial.
- $\alpha < \alpha_{min}$, interação inexistente. Não deve ser dimensionada como viga mista.

3.2.4 Determinação do momento fletor resistente de cálculo (M_{Rd})

Para uma viga mista com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$, o momento fletor resistente se dá pela plastificação total da seção transversal. Se o grau de interação for maior ou igual a 1 (interação completa), a força máxima de plastificação que poderá atuar na laje de concreto é $0,85f_{cd} bt_c$ (compressão) e no perfil de aço é $A_a f_{yd}$ (tração). Tais forças irão definir a posição da linha neutra plástica na estrutura.

Se $0,85f_{cd} bt_c \geq A_a f_{yd}$ a linha neutra plástica (LNP) passa pela laje de concreto e o momento fletor resistente é calculado pela equação (3.2):

$$M_{Rd} = T_{ad} \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right) \quad (3.2)$$

Na qual T_{ad} é a força resistente de cálculo do perfil de aço tracionado, d_1 é a distância do centro geométrico do perfil de aço até sua face superior, a é a espessura comprimida da laje, t_c é a altura de concreto da laje e h_F é a altura das nervuras. Caso a laje seja maciça, h_F é igual a zero.

Se $A_a f_{yd} > 0,85f_{cd} bt_c$ a linha neutra plástica (LNP) passa pela alma ou pela mesa superior do perfil de aço e o momento fletor resistente é determinado por meio da equação abaixo:

$$M_{Rd} = C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right) \quad (3.3)$$

Na qual C_{ad} e C_{cd} são as forças resistentes de cálculo das regiões comprimidas do perfil de aço e da laje de concreto, respectivamente. d é a altura total do perfil de aço, y_t é a distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até sua face inferior e y_c distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior. Como já citado anteriormente, se a laje for maciça, o valor de h_F é zero.

Caso a viga mista em estudo, com $\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$, possua interação parcial, ou seja, $\alpha_{min} \leq \alpha < 1$, existirão duas linhas neutras plásticas, uma na laje e outra no perfil de aço, podendo ser tanto na alma quanto na mesa do perfil, e o seu momento fletor resistente será calculado por:

$$M_{Rd} = C_{ad} (d - y_t - y_c) + C_{cd} \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right) \quad (3.4)$$

Para uma viga mista com $3,76 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$ e interação completa, o momento resistente é calculado com base nas máximas tensões resistentes, pois como há possibilidade de ocorrer flambagem local da alma no regime elastoplástico, a viga deve trabalhar no regime elástico para que a FLA não ocorra. Isso significa que as tensões devem ser limitadas à f_{yd} na face inferior do perfil e à f_{cd} na face superior da laje de concreto.

$$M_{Rd} \leq \begin{cases} W_{tr,i} f_{yd} \\ \alpha_E W_{tr,s} f_{cd} \end{cases} \quad (3.5)$$

Na qual α_E é razão entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto, $W_{tr,i}$ e $W_{tr,s}$ são os módulos resistentes elásticos em relação às faces inferior e superior da viga mista. Na Figura 3.5 é demonstrado como se calcula os módulos resistentes elásticos da seção homogeneizada.

No caso dessa mesma viga possuir uma interação parcial, o momento fletor resistente será determinado basicamente do mesmo modo citado anteriormente, substituindo apenas o módulo $W_{tr,i}$ da Equação 3.5, por um módulo efetivo $W_{ef,i}$ igual a:

$$W_{ef,i} = W_{a,i} + \sqrt{\alpha} (W_{tr,i} - W_{a,i}) \quad (3.6)$$

Onde $W_{a,i}$ é o módulo de resistência elástico inferior do perfil de aço.

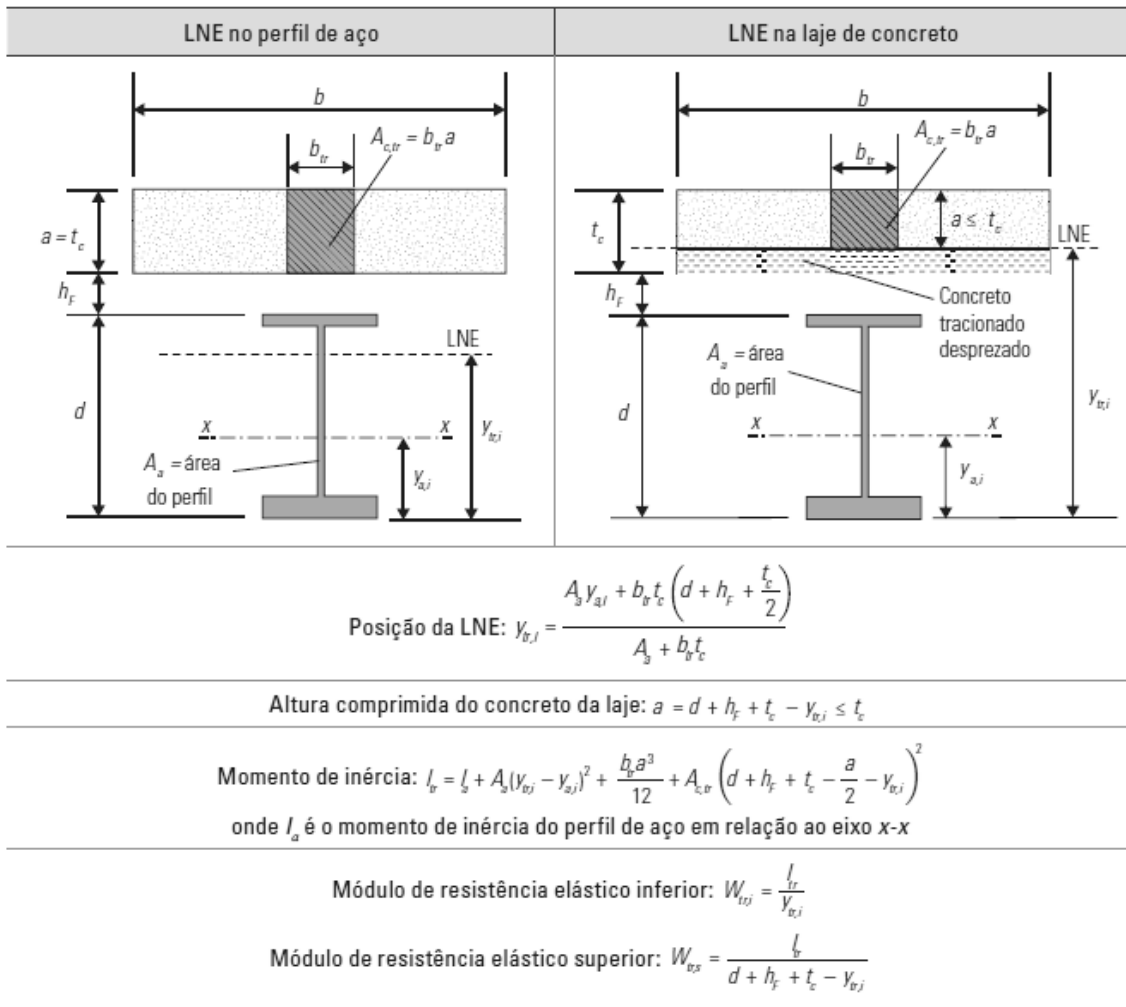


Figura 3.5 – Determinação dos módulos de resistência elástico

Fonte: FAKURY *et.al* (2016)

3.2.5 Dimensionamento à força cortante

Conforme a NBR 8800:2008, o esforço cortante resistente de uma seção mista deve ser determinado considerando apenas a resistência do perfil metálico, desprezando a participação da laje de concreto. Sendo assim, temos:

$$V_{pl} = A_w \times 0,6 \times f_y \quad (3.6)$$

Na qual A_w é a área da alma da seção de aço e V_{pl} é a força cortante correspondente à plastificação da alma por cisalhamento.

A força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por:

- Para $\lambda \leq \lambda_p$: $V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ (3.7)

- Para $\lambda_p < \lambda \leq \lambda_r$: $V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \times \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ (3.8)

- Para $\lambda > \lambda_r$: $V_{Rd} = 1,24 \left(\frac{\lambda_p}{\lambda}\right)^2 \times \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$ (3.9)

Na qual:

$$\lambda = \frac{h}{t_w} \qquad \lambda_p = 1,10 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}} \qquad \lambda_r = 1,37 \sqrt{\frac{k_v E}{f_y}}$$

$$k_v = \begin{cases} 5,0 \text{ para almas sem enrijecedores transversais, para } \frac{a}{h} > 3 \text{ ou para } \frac{a}{h} > \left[\frac{260}{(h/t_w)} \right]^2 \\ 5 + \frac{5}{(a/h)^2}, \text{ para todo os outros casos} \end{cases}$$

a é a distância entre as linhas de centro de dois enrijecedores transversais adjacentes.

γ_{a1} é o coeficiente de ponderação da resistência do aço igual a 1,10.

3.2.6 Estados-limites de serviço – Flecha

As flechas das vigas mistas devem ser controladas com base nos valores máximos de deslocamentos indicados na NBR 8800:2008 para que a estrutura não apresente problemas relacionados ao conforto dos usuários. Assim, para as vigas mistas de piso de pavimento adota-se $L/350$ como valor de flecha máxima permitida, na qual L é o vão teórico entre os apoios. Caso haja paredes de alvenaria sobre ou sob a viga, solidarizadas com essa viga, o deslocamento vertical não deve exceder a 15mm. No cálculo de flecha, utiliza-se a combinação rara de ações de serviço. Nas vigas não escoradas, determina-se a flecha máxima por meio da expressão abaixo:

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{p,pa} + \delta_{p,ld} + \delta_{v,cd} + \delta_{v,ld} - \delta_c \quad (3.10)$$

Na qual:

- $\delta_{p,pa}$ é flecha do perfil metálico causada pelas ações permanentes que atuam antes da cura do concreto;
- $\delta_{p,ld}$ é a flecha da viga mista causada pelas ações permanentes que atuam após a cura do concreto;
- $\delta_{v,cd}$ é a flecha causada pelas ações variáveis de curta duração;
- $\delta_{v,ld}$ é a flecha causada pelas ações variáveis de longa duração;
- δ_c é a contraflecha da viga (não pode ser maior que a soma $\delta_{p,pa} + \delta_{p,ld}$).

Nas vigas escoradas, aplica-se a mesma expressão (3.10), porém deve-se fazer $\delta_{p,pa}$ igual a zero.

4. DESENVOLVIMENTO

4.1. DISTRIBUIÇÃO ECONÔMICA DAS VIGAS MISTAS

No livro *Dimensionamento de Elementos Estruturais de Aço e Mistos de Aço e Concreto* (FAKURY *et al.*, 2016) os autores apresentam um método para determinar, de forma simplificada, em qual direção as vigas mistas secundárias devem ser projetadas para se obter uma solução mais econômica, isto é, para que se utilize uma menor quantidade de aço. O método consiste em adotar a menor espessura possível da fôrma de aço incorporado, 0,8mm, e a seguinte ordem de critérios:

- 1) Menor comprimento total de vigas secundárias, independentemente dos perfis a serem utilizados;
- 2) Menor peso próprio da laje, que é basicamente o peso do concreto.

Deverão ser analisadas as soluções para as vigas mistas secundárias colocadas na direção do menor vão e para as vigas mistas secundárias colocadas na direção do maior vão. Para encontrar o vão teórico, L_F , das lajes mistas na direção da nervura será utilizada a seguinte equação:

- Vigas secundária na direção do maior vão: $L_F = \frac{\text{menor vão}}{n+1}$
- Vigas secundária na direção do menor vão: $L_F = \frac{\text{maior vão}}{n+1}$

onde n é número de vigas secundárias.

Segundo os autores, adotando os critérios citados anteriormente para as soluções analisadas, será encontrada como solução final o tipo de laje mista a ser utilizada e a direção da viga mista secundária que, a princípio, nos garantirá uma estrutura econômica.

4.2. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

Com o intuito de validar o método utilizado no livro, citado no item anterior, para a disposição das vigas mistas secundárias será realizado o dimensionamento de lajes mistas e vigas mistas principais e secundárias, tanto na direção do maior vão quanto na direção do menor vão para um pavimento típico, variando suas dimensões e os valores das ações de sobrecarga atuantes no piso. Posteriormente será verificada qual a solução mais econômica em termos de quantidade de aço e

se esta confere com a solução que seria encontrada no caso de se utilizar os critérios mencionados no item 4.1 deste capítulo.

4.2.1 Considerações e carregamentos

A representação esquemática do módulo típico do pavimento avaliado neste estudo é apresentada pela Figura 4.1:

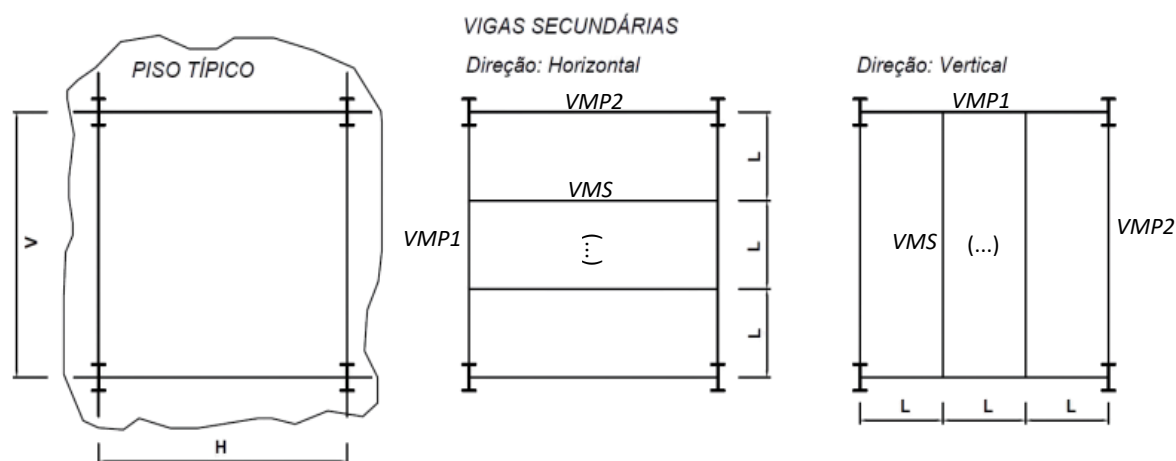


Figura 4.1 – Representação do piso típico avaliado

Serão analisados sete casos com dimensões variadas para um piso típico de escritório e sete casos para um piso típico de loja, também com variações das suas dimensões. Na Tabela 01, a seguir, estão listados os carregamentos e as dimensões do piso adotados para cada caso:

Tabela 01 – Dimensões e carregamento do pavimento típico

Caso	Pavimento $V \times H$ (m)	Carregamento (kN/m ²)			
		Revestimento e Forro	Peso da estrutura de aço	Sobrecarga* (Escritório)	Sobrecarga* (Loja)
1	6 x 8	1,5	0,25	2,0	4,0
2	6 x 10	1,5	0,25	2,0	4,0
3	6 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0
4	6 x 15	1,5	0,25	2,0	4,0
5	8 x 10	1,5	0,25	2,0	4,0
6	8 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0
7	10 x 12	1,5	0,25	2,0	4,0

*Valores da NBR 6120:1980.

4.2.2 Dimensionamento das lajes e vigas mistas

Com o auxílio do *software* Excel foram elaboradas planilhas de cálculo para que o dimensionamento das lajes e vigas mistas fosse otimizado.

No dimensionamento da laje mista, primeiramente deve-se entrar com os valores das ações permanentes e variáveis, com as dimensões do piso e escolher a espessura da forma de aço, que nesse trabalho para todos os casos será 0,8mm (menor espessura possível). Após a inserção desses dados, deve ser feito um comparativo entre as soluções apresentadas pela planilha das formas MF-50 e MF-75. Aquela que apresentar o menor comprimento total de vigas secundárias e o menor peso próprio da laje será adotada como solução final, seguindo os critérios definidos por FAKURY *et al.* (2016). Como as vigas mistas serão dimensionadas nas direções de menor e maior vão, a planilha mostrará as soluções para ambas as direções, com informações a respeito da laje e da viga secundária que serão consideradas nos cálculos futuros. A figura 4.2 a seguir mostra uma parte da interface da planilha de dimensionamento das lajes mistas.

Ações Permanentes e Variáveis	Dimensionamento da Laje Mista e Distribuição das Vigas Secundárias
Peso próprio da laje = 3,21 kN/m ² Sobrecarga = 4,00 kN/m ² Peso próprio da estrutura das vigas de aço = 0,25 kN/m ² Peso próprio das divisórias = 0,00 kN/m ² Peso próprio do revestimento do piso = 1,50 kN/m ² Sobrecarga de construção = 1,00 kN/m ² Elementos construtivos = 0,00 kN/m ²	Geometria do Piso: H = 8,00 m V = 6,00 m Tipo de Laje = Piso Laje Mista: Espessura escolhida = 0,80 Forma = MF-75 Direção Viga sec. = Horizontal L = 3,00 m
Coefficientes de ponderação das cargas, comb. construção: Permanente = 1,3 Variáveis = 1,2	Direção viga sec. = Horizontal Quantidade de Vigas = 1 Comprimento da Viga Secundária = 8 Comprimento total das vigas secundárias = 8 Altura total da laje = 170 Carga máxima suportada = 5,82 Peso próprio = 3,21 kN/m ² Vão entre vigas (L) = 3000 mm
Coefficientes de ponderação das cargas, comb. normal: permanente = 1,4 sobrecarga = 1,4	Vertical = 2 6 12 140 6,11 2,50 kN/m ² 2667 mm
Carga distribuída no piso (q) = 8,96 kN/m ² Carga distribuída no piso de cálculo (q _d) = 12,54 kN/m ²	<input checked="" type="checkbox"/> Solução indicada pelo critério do Livro

Figura 4.2 – Parte da interface da planilha de dimensionamento das lajes mistas

A partir dos dados e resultados definidos a respeito da laje mista e da direção da viga mista secundária, a planilha apresentará os valores dos esforços solicitantes nas vigas, calculados para as fases de utilização e construção, e os esforços solicitantes que serão utilizados para o cálculo de limitação de tensão. Esses valores encontrados servirão de base para o dimensionamento das vigas mistas principais e secundárias. Vide figura 4.3:

Esforços Solicitantes (Fase de utilização):	Esforços Solicitantes (Fase de construção):
<p>Viga secundária: Número de secundárias = 1 secundárias Vão da viga secundária = 8,00 m Carga de cálculo (q_d) = 26,25 kN/m Reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V_d) = 105,00 kN Momento solicitante de cálculo (M_d) = 210,00 kN.m</p> <p>Viga principal: Vão da viga principal = 6,00 m Reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V_d) = 105,00 kN Momento solicitante de cálculo (M_d) = 315,00 kN.m</p> <p>Carga na base: (NS_d) = 4641 kN</p> <p>Região de introdução de carga: ΣV_{Sd} = 420 kN</p>	<p>Viga secundária: Cortante solicitante antes da cura do concreto ($V_{ac,svk}$) = 45,00 kN Cortante solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($V_{ac,isd}$) = 57,30 kN Momento solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($M_{pa,isd}$) = 114,60 kN.m</p> <p>Viga principal: Cortante solicitante antes da cura do concreto ($V_{ac,svk}$) = 45,00 kN Cortante solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($V_{ac,isd}$) = 57,30 kN Momento solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($M_{pa,isd}$) = 171,90 kN.m</p>

Figura 4.3 – Apresentação na planilha dos esforços solicitantes calculados

Para o dimensionamento da viga mista será necessário inserir alguns dados de entrada para que a planilha faça os devidos cálculos, de forma a verificar se o perfil de aço selecionado atende a todos os critérios. Nesse trabalho, os dados utilizados na planilha são:

- **Aço:** ASTM A572 Grau 50
- **Resistência do Aço (f_y):** 34,5 kN/cm²
- **Resistência do Concreto (f_{ck}):** 3,0 kN/cm²
- **Tipo de Brita:** Granito e Gnaisse
- **Conector:** Pino com cabeça, diâmetro de 19 mm. Rg e Rp iguais a 1,00.

As outras informações iniciais que deverão ser inseridas são o tipo de laje (esse dado foi definido anteriormente na etapa de dimensionamento da laje mista) e se a viga mista a ser dimensionada é a principal ou a secundária.

Dados de Entrada	
Aço	ASTM A572 Gr 50
f_y	345 MPa
f_{ck}	30 MPa
Brita	Granito e Gnaisse
Viga:	Viga Secundária
Perfil	W 310 x 21,0
Laje	MF-75-140-0,8
hF	75 mm
tc	65 mm
Conector	Pino com cabeça
dcs, diâmetro	19 mm
Rg	1,00
Rp	1,00
Le, vão da viga	8,00 m
Lado esquerdo	viga adjacente
Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado esquerdo	3,00 m
Lado direito	viga adjacente
Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado direito	3,00 m

Figura 4.4 – Dados iniciais da planilha de dimensionamento da viga mista

Após selecionar um perfil de aço, o mesmo será verificado pela planilha ao estado limite-último, à limitação de tensão na face inferior do perfil e ao estado limite de serviço (flechas). As flechas foram calculadas com base em um diagrama de momento fletor parabólico. A figuras 4.5 nos mostra a interface que contém as verificações a serem realizadas ao perfil.

Resumo da verificação de todos os estados limites:		0,983	Atende todos os critérios de verificação!
Esbeltez da alma e regime de cálculo (h/tw) = 53,255			
λ_p =	90,530		
λ_r =	137,240	Atende!	
(h/tw)/ λ_r =	0,388	Cálculo do momento resistente deve ser feito no regime PLÁSTICO!	
α , grau de interação =	0,429	Atende!	
α_{min} , grau de interação mínimo =	0,42831352490	Atende!	
n, número de conectores =	4		
Estado limite último: Verificação da viga de aço antes da cura do concreto.			
Lb =	0		
Cb =	1,14		
Mpa,Sd =	5730,00 kN.cm	<= Mpa,Rd = 9155,05 kN.cm	Atende!
Mpa,Sd/Mpa,Rd =	0,626		
Estado limite último: Cálculo do momento resistente deve ser feito no regime PLÁSTICO!			
LNPs no concreto e no perfil			
Mvm,Sd =	10500,00 kN.cm	≤ Mvm,Rd = 17532,17 kN.cm	Atende!
Mvm,Sd/Mvm,Rd =	0,599		
Vvm,Sd =	70,00 kN	≤ VRd = 290,80 kN	Atende!
Vvm,Sd/VRd =	0,241		
Tensão de cálculo fyd na face inferior do perfil: Deve ser verificado para vigas mista sem escoramento.			
MGa,Sd =	4290,00 kN.cm		
ML,Sd =	5880,00 kN.cm		
MGa,Sd/Wx + ML,Sd/Wef,i =	30,82005086	Atende!	
(MGa,Sd/Wx + ML,Sd/Wef,i)/fyd =	0,982668288		
Limitação de tensão para cálculo elástico da flecha: Deve ser verificado para vigas mistas calculadas no regime elástico ou plástico.			
MGa,Sk =	3300,00 kN.cm		
ML,Sk =	4200,00 kN.cm		
MGa,Sk/Wx + ML,Sk/Wef,i =	22,96020601	Atende!	
(MGa,Sk/Wx + ML,Sk/Wef,i)/fy =	0,666		
Flechas: Calculadas com base em um diagrama de momento fletor parabólico.			
Mp,pa,Sn =	3300,00 kN.cm	1,639 cm	
Mp,ld,Sn =	1800,00 kN.cm	0,300 cm	
Mv,cd,Sn =	1440,00 kN.cm	0,193 cm	
Mv,ld,Sn =	960,00 kN.cm	0,160 cm	
Mp,te,Sn =	0,00 kN.cm	0,000 cm	
Contraflecha =	100%	-1,000 cm	Atende!
	Total =	1,292 cm	
	Limite (Le/350) =	1,714 cm	Atende!
	Não tem alvenaria		Atende!

Figura 4.5 – Verificações aos estados limite último e de serviço do perfil de aço

Em todos os casos de dimensionamento deve ser utilizado, primeiramente, o grau de interação igual a 1 (interação completa), a fim de identificar o perfil mais leve que passará em todas as verificações. Posteriormente, será averiguado qual o

menor grau de interação que possa ser utilizado na interação parcial, podendo em alguns casos ser igual ao α_{min} , considerando o perfil mais leve escolhido na interação completa. Há uma tabela dinâmica gerada pela própria planilha de dimensionamento de viga mista que apresenta quais perfis atendem todas as verificações aos estados limites para aquele caso específico e uma outra tabela que demonstra quais valores de α que atendem também as verificações dos estados limites para o perfil selecionado.

Interação atual	0,429	Interação atual	0,429
Verificação atual	0,983	Verificação atual	0,983
W 150 x 13,0	2,556	0,428	0,983
W 150 x 18,0	1,806	0,430	0,982
W 150 x 24,0	1,304	0,440	0,980
W 200 x 15,0	1,781	0,450	0,978
W 200 x 19,3	1,399	0,460	0,976
W 200 x 22,5	1,191	0,470	0,974
W 200 x 26,6	0,956	0,480	0,972
W 200 x 31,3	0,805	0,490	0,970
W 250 x 17,9	1,310	0,500	0,969
W 250 x 22,3	1,041	0,510	0,967
W 250 x 25,3	0,901	0,520	0,965
W 250 x 28,4	0,789	0,530	0,963
W 250 x 32,7	0,657	0,540	0,961
W 250 x 38,5	0,549	0,550	0,960
W 250 x 44,8	0,473	0,560	0,958
W 310 x 21,0	0,983	0,570	0,956
W 310 x 23,8	0,864	0,580	0,955
W 310 x 28,3	0,703	0,590	0,953
W 310 x 32,7	0,601	0,600	0,952
W 310 x 38,7	0,641	0,610	0,950
W 310 x 44,5	0,557	0,620	0,948
W 310 x 52,0	0,476	0,630	0,947
W 360 x 32,9	0,648	0,640	0,945
W 360 x 39,0	0,535	0,650	0,944
W 360 x 44,0	0,460	0,660	0,943
W 360 x 51,0	0,403	0,670	0,941

Figura 4.6 – Verificação dos perfis e dos valores do grau de interação

Para cada caso da Tabela 01 foi realizado o dimensionamento da laje mista e das vigas mistas principais e secundárias tanto na direção horizontal, quanto na direção vertical considerando um piso típico de escritório e um piso típico de loja.

4.3. ANÁLISE DOS RESULTADOS

Após dimensionado todo o sistema estrutural (definição das lajes e dos perfis das vigas mistas) foi calculada a quantidade de aço, em quilogramas, para cada um dos sete casos da tabela 01, considerando o piso tipo de escritório e o piso tipo de loja. As Tabelas 02 e 03 apresentam resumidamente os resultados encontrados para esses casos.

Tabela 02 – Resultados do dimensionamento de um piso tipo para escritório

Caso	Pavimento (m)	Direção (Viga sec.)	Perfis		Peso total (VMP1)	Peso total (VMP2)	Quantidade (VMS)	Peso total (VMS)	Quantidade total de Aço (kg)	%
			Viga Principal	Viga Secundária						
1	6x8	Horizontal*	W 410 x 46,1	W 360 x 32,9	276,60 kg	263,20 kg	1	263,20 kg	803,00	
1	6x8	Vertical	W 460 x 52	W 310 x 21	416,00 kg	126,00 kg	2	252,00 kg	794,00	1%
2	6x10	Horizontal*	W 460 x 52	W 410 x 46,1	312,00 kg	461,00 kg	1	461,00 kg	1234,00	
2	6x10	Vertical	W 460 x 82	W 310 x 28,3	820,00 kg	169,80 kg	2	339,60 kg	1329,40	-7%
3	6x12	Horizontal*	VS 500 x 61	W 460 x 60	366,00 kg	720,00 kg	1	720,00 kg	1806,00	
3	6x12	Vertical	VS 600 x 95	W 310 x 23,8	1140,00 kg	142,80 kg	3	428,40 kg	1711,20	6%
4	6x15	Horizontal*	VS 550 x 64	W 530 x 82	384,00 kg	1230,00 kg	1	1230,00 kg	2844,00	12%
4	6x15	Vertical	VS 700 x 122	W 310 x 23,8	1830,00 kg	142,80 kg	4	571,20 kg	2544,00	
5	8x10	Horizontal	W 530 x 72	W 360 x 44	576,00 kg	440,00 kg	2	880,00 kg	1896,00	
5	8x10	Vertical*	VS 600 x 95	W 410 x 38,8	950,00 kg	310,40 kg	2	620,80 kg	1881,20	-1%
6	8x12	Horizontal*	W 530 x 85	W 410 x 60	680,00 kg	720,00 kg	2	1440,00 kg	2840,00	
6	8x12	Vertical	VS 700 x 122	W 310 x 38,7	1464,00 kg	309,60 kg	3	928,80 kg	2702,40	5%
7	10x12	Horizontal*	VS 700 x 122	VS 550 x 64	1220,00 kg	768,00 kg	2	1536,00 kg	3524,00	
7	10x12	Vertical	VS 750 x 125	W 410 x 46,1	1500,00 kg	461,00 kg	3	1383,00 kg	3344,00	5%

*Solução indicada pelo critério do livro

Tabela 03 – Resultados do dimensionamento de um piso tipo para loja

Caso	Pavimento (m)	Direção (Viga sec.)	Perfis		Peso total (VMP1)	Peso total (VMP2)	Quantidade (VMS)	Peso total (VMS)	Quantidade total de Aço (kg)	%
			Viga Principal	Viga Secundária						
1	6x8	Horizontal*	W 410 x 60	W 360 x 44	360,00 kg	352,00 kg	1	352,00 kg	1064,00	
1	6x8	Vertical	W 460 x 60	W 310 x 23,8	480,00 kg	142,80 kg	2	285,60 kg	908,40	17%
2	6x10	Horizontal*	VS 500 x 61	W 410 x 60	366,00 kg	600,00 kg	1	600,00 kg	1566,00	
2	6x10	Vertical	W 530 x 92	W 310 x 23,8	950,00 kg	142,80 kg	3	428,40 kg	1521,20	3%
3	6x12	Horizontal*	W 460 x 82	W 530 x 74	492,00 kg	888,00 kg	1	888,00 kg	2268,00	
3	6x12	Vertical	VS 650 x 114	W 310 x 28,3	1368,00 kg	169,80 kg	3	509,40 kg	2047,20	11%
4	6x15	Horizontal*	W 530 x 92	VS 600 x 95	552,00 kg	1425,00 kg	1	1425,00 kg	3402,00	
4	6x15	Vertical	VS 800 x 143	W 310 x 28,3	2145,00 kg	169,80 kg	4	679,20 kg	2994,00	14%
5	8x10	Horizontal*	W 530 x 92	W 460 x 52	736,00 kg	520,00 kg	2	1040,00 kg	2296,00	
5	8x10	Vertical	VS 600 x 111	W 310 x 38,7	1110,00 kg	309,60 kg	3	928,80 kg	2348,40	-2%
6	8x12	Horizontal*	VS 600 x 95	VS 500 x 61	760,00 kg	732,00 kg	2	1464,00 kg	2956,00	
6	8x12	Vertical	VS 800 x 129	W 360 x 44	1548,00 kg	352,00 kg	3	1056,00 kg	2956,00	0%
7	10x12	Horizontal	VS 800 x 129	VS 500 x 61	1290,00 kg	732,00 kg	3	2196,00 kg	4218,00	
7	10x12	Vertical*	VS 1100 x 219	W 410 x 60	2628,00 kg	600,00 kg	3	1800,00 kg	5028,00	19%

*Solução indicada pelo critério do livro

A última coluna de ambas as tabelas representa a porcentagem de aumento ou redução da quantidade de aço da solução indicada pelo critério do livro em relação a solução oposta. Por exemplo no “Caso 4” da Tabela 02, a solução encontrada utilizando o critério do livro foi a viga mista secundária na posição horizontal, resultando num peso total de aço de 2844,00 kg. O que representa uma quantidade de 12% a mais de aço em relação ao valor encontrado na solução oposta, em que a viga mista secundária é disposta na posição vertical do pavimento.

Dentre os 14 casos analisados com base no método de distribuição de vigas secundárias, apenas 3 deles apresentaram uma quantidade total de aço menor que a outra solução. Sendo 2 deles com a utilização da sobrecarga para escritórios e 1 deles com a sobrecarga para lojas. Em apenas um caso a quantidade de aço encontrada foi exatamente a mesma para ambas as soluções.

No dimensionamento das vigas de piso para escritórios, apenas o pavimento **8m x 10m** teve como solução a direção das vigas secundárias na vertical (menor vão), quando aplicado o método do livro. Nesse caso, realmente a quantidade total de aço foi um pouco menor em comparação com as vigas secundárias projetadas na

direção horizontal (maior vão). Já no dimensionamento das vigas de piso para lojas, apenas o pavimento **10m x 12m** teve a solução apontada, como a mais econômica, a direção das vigas secundárias na vertical. Contudo, a solução indicada apresentou uma quantidade maior de aço em comparação com as vigas secundárias projetadas na direção horizontal. Os demais pavimentos indicaram como solução as vigas secundárias projetadas na direção horizontal (maior vão), porém nem todos os casos apresentaram a quantidade total de aço menor em comparação com a solução das vigas secundárias na direção oposta.

Nos gráficos a seguir, pode-se verificar a relação da quantidade de aço por metro quadrado de cada piso. É notável observar que na maior parte dos casos os módulos com menores dimensões possuem um consumo de aço menor em comparação com os módulos de maiores áreas.

Gráfico 01 – Consumo de aço para os pisos de escritório

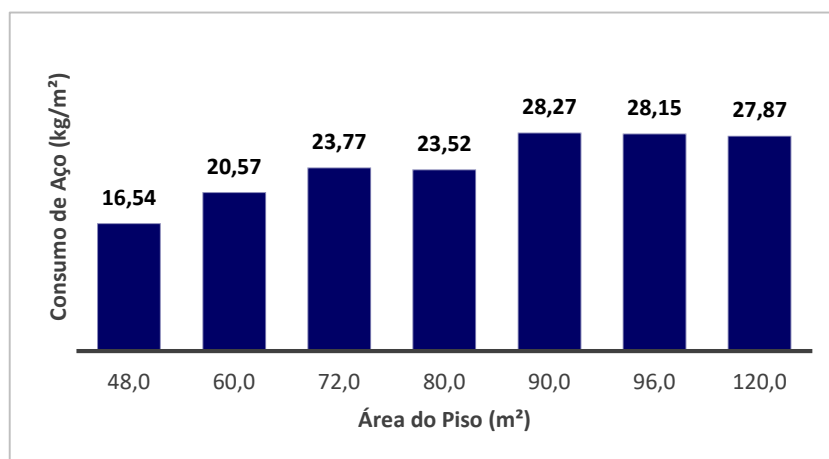
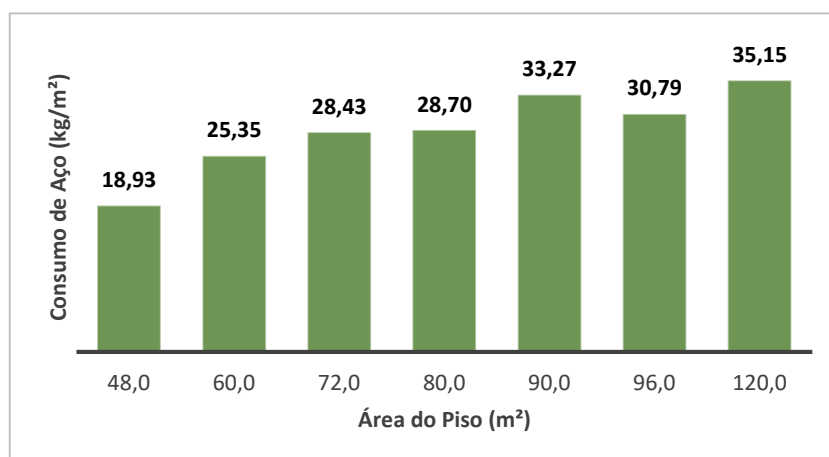


Gráfico 02 – Consumo de aço para os pisos de loja



5. CONCLUSÃO

As avaliações realizadas nesse trabalho nos permitem inferir que o método em estudo de distribuição de vigas mistas secundárias não garante uma estrutura mais econômica em 100% dos casos em que o mesmo for utilizado. Além disso, nos casos em que o método se demonstrou válido, a redução da quantidade de aço não é significativa quando comparada com a outra solução possível.

Os resultados demonstram que o peso total de aço, na maior parte dos casos, é menor quando as vigas secundárias estão no sentido do menor vão.

É importante ressaltar que os módulos com vãos menores, como por exemplo o 6m x 8m e o 6m x 10m, mostraram-se mais econômicos que os de vãos maiores, como o 6m x 15m ou 10m x 12m. Por isso, é fundamental avaliar as dimensões do módulo durante a fase de projeto, pois a realização de um piso com módulos de áreas menores pode vir a se tornar mais viável economicamente, mesmo que isso implique em um aumento na quantidade dos módulos típicos.

Por fim, é necessário que novos estudos sejam realizados com novas variações de cargas, dimensões de piso e até mesmo espessura da forma de aço, para que futuramente se encontre um método prático que garanta uma estrutura segura e mais econômica, pelo menos para a grande maioria dos casos em que for utilizado. Enquanto isso, é recomendável que o projetista analise a posição das vigas mistas secundárias em ambas as direções. Dessa forma, em termos de quantidade de aço, é possível definir uma solução de projeto mais efetiva economicamente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de Estruturas de Aço e Estruturas Mistas de Aço e Concreto de Edifícios**. Rio de Janeiro, 2008.

CORTEZ, Lucas Azevedo da Rocha *et al.* **Uso das Estruturas de Aço no Brasil. Cadernos de Graduação: Ciências exatas e tecnológicas**. Alagoas, v. 4, n. 2, p. 217-228, nov. 2017. Disponível em: periodicos.set.edu.br. Acesso em: 24 out. 2020.

ELLER, Pâmela Renon. **Pré-dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto para pontes de pequeno porte**. 2011. 63 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola de Minas – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

FAKURY R.H.; SILVA A.L.C.; CALDAS R.B.; **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

METFORM S.A. **Catálogo Técnico Steel Deck**. Betim/MG, 2019. Disponível em: <http://www.metform.com.br/>. Acesso em: 11 jan. 2021.

MÜLLER, Márcio Brecher. **Vigas mistas de aço-concreto: comparação com vigas simples em um estudo de caso**. 2015. 93 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.

QUEIROZ, G.; PIMENTA, R.J. **Estruturas mistas - Volume 1**. 2ª Edição. Rio de Janeiro: Instituto Aço Brasil, Centro Brasileiro de Construção em Aço (CBCA), 2012.

VIANNA, Juliana da Cruz. **Sistema de laje-mista para edificações residenciais com o uso de perfis embossados de chapa dobrada**. 2005. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

Anexo A

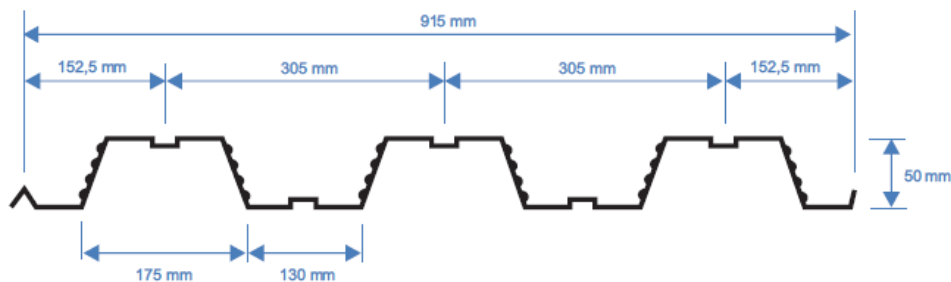
Especificações técnicas das formas MF-50 e MF-75 da Metform

A.1. MF-50

- Tabela de cargas e vãos máximos:

Laje de F. conc.	Laje de Placo	Altura da Laje (mm)	Espessura Teto-Forma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ m ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)															
				Simplex (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
100	0,80	2.050	2.800	2.900	900	1,85	5,25	1,800	1,900	2,000	2,100	2,200	2,300	2,400	2,500	2,600	2,700	2,800	2,900	3,000	3,100	3,200			
		0,95	2.950	3.150	3.250	1.100	1,86	5,61	11,69	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	
		1,25	3.200	3.800	3.800	1.450	1,89	6,26	16,43	14,46	12,76	11,31	10,06	8,97	8,02	7,18	6,44	6,10	5,78	5,19	4,67	4,20	3,77	3,38	
	110	0,80	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	
			0,95	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	3,98	3,53	3,13	2,78	2,46
			1,25	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
	120	0,80	1.850	2.600	2.700	850	2,32	8,85	11,81	10,33	9,06	7,88	7,03	6,21	5,50	4,86	4,30	4,05	3,90	3,36	2,96	2,60	2,27	1,98	
			0,95	2.250	2.900	3.000	1.050	2,33	9,43	14,62	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
			1,25	2.950	3.550	3.550	1.350	2,36	10,49	20,00	18,34	16,20	14,36	12,78	11,40	10,19	9,13	8,19	7,76	7,36	6,61	5,95	5,35	4,81	4,32
	130	0,80	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	4,48	4,21	3,72	3,28	2,88	2,52	2,19	
			0,95	2.050	2.800	2.900	1.000	2,57	11,87	16,39	14,37	12,65	11,18	9,90	8,79	7,81	6,96	6,20	5,85	5,52	4,82	4,38	3,89	3,46	3,06
			1,25	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
140	0,80	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		
		0,95	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	
		1,25	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	5,28	
150	0,80	1.250	2.300	2.450	800	3,02	16,99	15,57	13,61	11,96	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		
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,68	19,83	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,96	6,59	5,98	5,23	4,65	4,13	3,68	
		1,25	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	7,88	7,08	6,37	5,72	
160	0,80	1.150	2.200	2.300	800	3,26	20,45	16,62	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		
		0,95	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	6,36	5,66	5,04	4,47	3,96	
		1,25	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	11,89	11,08	10,51	9,45	8,50	7,65	6,89	6,19	
170	0,80	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	3,06		
		0,95	1.500	2.500	2.600	900	3,51	25,67	20,00	18,69	17,51	15,47	13,71	12,17	10,80	9,64	8,80	8,12	7,66	6,80	6,09	5,42	4,81	4,38	
		1,25	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	

- Dimensões:



- Consumo de concreto – Armadura para retração:

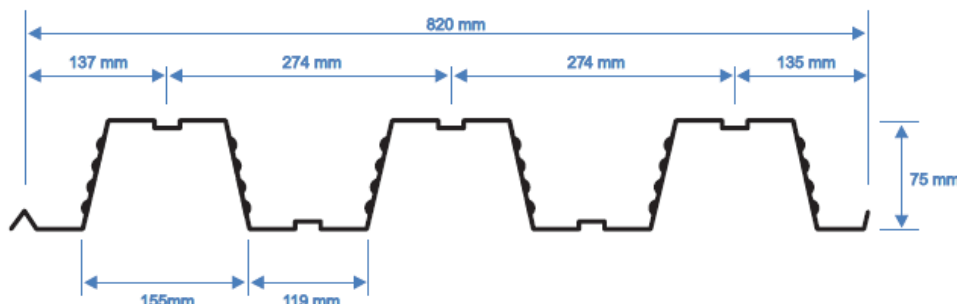
Altura da laje (mm)	Consumo de Concreto (m ³ /m ²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m ²)
100	0,0750	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
110	0,0850	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
120	0,0950	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
130	0,1050	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
140	0,1150	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
150	0,1250	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
160	0,1350	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
170	0,1450	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20

A.2. MF-75

- Tabela de cargas e vãos máximos:

Altura da Laje (mm)	Espessura Tabela-forma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m²)	M. Inércia Laje Mistá (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m²)																
		Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)																
130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,65	2.000	2.100	2.200	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	
	0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	11,87	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00	
	1,25	3.650	4.300	4.400	1.680	2,32	12,74	13,16	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,46	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,46	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44	
	0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23	
140	1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,88	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,57	10,59	9,81	9,02	8,31	7,38	6,53	5,59	4,61	3,61	
	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59	
	0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,67	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45	
	1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,10	
	0,80	1.850	2.800	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73	
160	0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,63	16,64	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68	
	1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,80	20,00	20,00	18,42	16,78	15,29	13,97	12,80	11,75	10,81	9,95	8,82	7,83	6,71	5,54	4,38		
	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88	
	0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,38	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91	
	1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,85	8,49	7,27	6,00	4,96		
180	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03	
	0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,64	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14	
	1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,29	14,92	13,70	12,60	11,60	10,29	9,14	7,63	6,47	5,35		
	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,82	19,63	17,47	15,60	13,98	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,81	3,96	2,98	2,16	
	0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36	
200	1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73	
	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,62	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,75	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33	
	0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,06	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59		
	1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,54	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,38	6,12	

- Dimensões:



- Consumo de concreto – Armadura para retração:

Altura de laje (mm)	Consumo de Concreto (m³/m²)	Tipo de armadura para retração, em tela soldada		
		Denominação	Composição	Peso (kg/m²)
130	0,0925	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
140	0,1025	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
150	0,1125	Q-75	Ø3,8 x Ø3,8 – 150 x 150	1,21
160	0,1225	Q-92	Ø4,2 x Ø4,2 – 150 x 150	1,48
170	0,1325	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
180	0,1425	Q-113	Ø3,8 x Ø3,8 – 100 x 100	1,80
190	0,1525	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20
200	0,1625	Q-138	Ø4,2 x Ø4,2 – 100 x 100	2,20

Anexo B

Dimensionamento da viga mista secundária utilizando a planilha de cálculo

Será tomado como exemplo o Caso 01 da Tabela 01, piso típico de loja, para a demonstração de como utilizar a planilha de dimensionamento de lajes e vigas mistas empregada nesse trabalho:

B .1. Planilha de dimensionamento da laje mista e cálculo dos esforços solicitantes

- **Carregamento:** entrada das ações gravitacionais variáveis e permanentes e dos valores dos coeficientes de ponderação.

Ações Permanentes e Variáveis	
Peso próprio da laje =	3,21 kN/m ²
Sobrecarga =	4,00 kN/m ²
Peso próprio da estrutura das vigas de aço =	0,25 kN/m ²
Peso próprio das divisórias =	0,00 kN/m ²
Peso próprio do revestimento do piso =	1,50 kN/m ²
Sobrecarga de construção =	1,00 kN/m ²
Elementos construtivos =	0,00 kN/m ²
Coefficientes de ponderação das cargas, comb. construção:	
Permanente =	1,3
Variáveis =	1,2
Coefficientes de ponderação das cargas, comb. normal:	
permanente =	1,4
sobrecarga =	1,4
Carga distribuída no piso (q) = 8,96 kN/m ²	
Carga distribuída no piso de cálculo (q_d) = 12,54 kN/m ²	

Valor preenchido automaticamente, após definição da laje mista.

Inserir os valores das ações.

Inserir os valores dos coeficientes de ponderação.

- **Definição do piso, da laje mista e da direção da viga mista secundária:** entrada dos valores dimensionais do pavimento, escolha do tipo de fôrma, espessura e se a laje é para forro ou piso. A partir das soluções demonstradas, é necessário definir

a direção da viga secundária, para darmos continuidade ao dimensionamento. Nessa etapa é definida a laje mista a ser utilizada no restante dos cálculos.

Dimensionamento da Laje Mista e Distribuição das Vigas Secundárias

Geometria do Piso:
 H = 8,00 m
 V = 6,00 m

Tipo de Laje: Piso

Laje Mista:
 Espessura escolhida: 0,80
 Forma: MF-75

Direção Viga sec.: Horizontal
 L = 3,00 m

Direção viga sec.	Horizontal	Vertical
Quantidade de Vigas	1	2
Comprimento da Viga Secundária	8	6
Comprimento total das vigas secundárias	8	12
Altura total da laje	170	140
Carga máxima suportada	5,82	6,11
Peso próprio	3,21 kN/m ²	2,50 kN/m ²
Vão entre vigas (L)	3000 mm	2667 mm

Soluções encontradas para a viga secundária disposta em ambas as direções.

Solução indicada pelo critério do Livro

Definir as dimensões do pavimento.
 Selecionar o tipo de laje: Forro ou Piso.
 Selecionar a espessura e o tipo de forma.
 Definir a direção da viga secundária.

- **Esforços solicitantes:** apresentação dos resultados dos esforços solicitantes de cálculo nas fases de utilização e construção, e dos esforços solicitantes utilizados na verificação da limitação de tensão na face inferior do perfil de aço.

Esforços Solicitantes (Fase de utilização):

Viga secundária:

Número de secundárias = 1 secundárias
 Vão da viga secundária = 8,00 m
 Carga de cálculo (q_d) = 37,63 kN/m
 Reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V_d) = 150,53 kN
 Momento solicitante de cálculo (M_d) = 301,06 kN.m

Viga principal:

Vão da viga principal = 6,00 m
 Reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (V_d) = 150,53 kN
 Momento solicitante de cálculo (M_d) = 451,58 kN.m

Região de introdução de carga:

ΣV_{Sd} = 602 kN

Valores preenchidos automaticamente, após definição da laje e da direção da viga mista secundária.

Esforços Solicitantes (<i>Fase de construção</i>):	
Viga secundária:	
Cortante solicitante antes da cura do concreto ($V_{3c,Sk}$) =	53,52 kN
Cortante solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($V_{3c,Ed}$) =	68,38 kN
Momento solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($M_{3c,Ed}$) =	136,75 kN.m
Viga principal:	
Cortante solicitante antes da cura do concreto ($V_{3c,Sk}$) =	53,52 kN
Cortante solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($V_{3c,Ed}$) =	68,38 kN
Momento solicitante de cálculo antes da cura do concreto ($M_{3c,Ed}$) =	205,13 kN.m

Valores preenchidos automaticamente, após definição da laje e da direção da viga mista secundária.

Esforços Solicitantes (<i>Limitação de Tensão</i>):	
Viga secundária:	
Cortante antes da cura do concreto ($V_{G2,Sk}$) =	41,52 kN
Cortante após a cura do concreto ($V_{L,Sk}$) =	66,00 kN
Momento antes da cura do concreto ($M_{G2,Sk}$) =	83,04 kN.m
Momento após a cura do concreto ($M_{L,Sk}$) =	132,00 kN.m
Momento de cálculo antes da cura do concreto ($M_{G2,Ed}$) =	107,95 kN.m
Momento de cálculo após a cura do concreto ($M_{L,Ed}$) =	184,80 kN.m
Viga principal:	
Cortante antes da cura do concreto ($V_{G2,Sk}$) =	41,52 kN
Cortante após a cura do concreto ($V_{L,Sk}$) =	66,00 kN
Momento antes da cura do concreto ($M_{G2,Sk}$) =	124,56 kN.m
Momento após a cura do concreto ($M_{L,Sk}$) =	198,00 kN.m
Momento de cálculo antes da cura do concreto ($M_{G2,Ed}$) =	161,93 kN.m
Momento de cálculo após a cura do concreto ($M_{L,Ed}$) =	277,20 kN.m

Valores preenchidos automaticamente, após definição da laje e da direção da viga mista secundária.

B .2. Planilha de dimensionamento da viga mista

- **Dados de entrada:** inserção das informações técnicas dos materiais a serem utilizados, como o aço, o concreto, a laje mista, o conector de cisalhamento e o perfil da viga mista (principal ou secundária).

Dados de Entrada			
Inserir o tipo de aço e sua resistência ao escoamento em Mpa.	Aço $f_y =$	ASTM A572 Gr 50 345 MPa	34,5 kN/cm ²
Inserir a resistência à compressão do concreto, em Mpa, e o tipo de brita.	Brita $f_{ck} =$	Granito e Gnaissé 30 MPa	3,0 kN/cm ²
Selecionar a laje mista dimensionada nas etapas anteriores.	Laje	MF-75-170-0,8	
Inserir o tipo de conector de cisalhamento, seu diâmetro e os valores dos coeficientes R_g e R_p .	Viga: Perfil	Viga Secundária W 360 x 44,0	Selecionar qual viga mista a ser dimensionada (principal ou secundária). Selecionar um perfil qualquer.
	$h_F =$ $t_c =$	75 mm 95 mm	7,50 cm 9,50 cm
	Conector d_{cs} , diâmetro =	Pino com cabeça 19 mm	1,90 cm
Le, vão da viga = Lado esquerdo = Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado esquerdo = Lado direito = Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado direito =	$R_g =$ $R_p =$	1,00 1,00	
	$R_g =$ $R_p =$	1,00 1,00	
	Le, vão da viga = Lado esquerdo = Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado esquerdo = Lado direito = Dist. entre a viga e a viga adjacente no lado direito =	8,00 m viga adjacente 3,00 m viga adjacente 3,00 m	

- **Propriedades geométricas e de material:** apresentação dos valores das propriedades do aço, do concreto, do perfil, dos conectores e da seção mista.

Propriedades Geométricas e de Material			
$E_a = 20000 \text{ kN/cm}^2$ $\alpha_s = 0,875$ $\alpha_g = 1,0$ $E_c = 2684 \text{ kN/cm}^2$ $E_{cred} = 1074 \text{ kN/cm}^2$		$\gamma_c = 1,4$ $f_{cd} = 2,14 \text{ kN/cm}^2$ $\gamma_{a1} = 1,1$ $f_{yd} = 31,36 \text{ kN/cm}^2$	
$d = 352 \text{ mm}$ $bf = 171 \text{ mm}$ $tf = 9,80 \text{ mm}$ $tw = 6,90 \text{ mm}$ $h = 308 \text{ mm}$	$35,20 \text{ cm}$ $17,10 \text{ cm}$ $0,980 \text{ cm}$ $0,690 \text{ cm}$ $30,84 \text{ cm}$	$A_a = 57,70 \text{ cm}^2$ $I_x = 12258 \text{ cm}^4$ $W_x = 696,5 \text{ cm}^3$ $Z_x = 784,3 \text{ cm}^3$ $d_1 = 17,60 \text{ cm}$	$I_y = 818 \text{ cm}^4$ $r_y = 3,77 \text{ cm}$ $J = 16,70 \text{ cm}^4$ $C_w = 239091,0 \text{ cm}^6$
$A_{cs} = 2,84 \text{ cm}^2$ $f_{ucs} = 41,50 \text{ kN/cm}^2$ $\gamma_{cs} = 1,25$		Valores preenchidos automaticamente das propriedades de material dos conectores.	
Largura efetiva da laje b , lado esquerdo = 100,00 cm b , lado direito = 100,00 cm $b = 200,00 \text{ cm}$		$\alpha_e = 7,45$ $b_{tr,cd} = 26,84 \text{ cm}$ $b_{tr,ld} = 8,95 \text{ cm}$	
		Valores preenchidos automaticamente das propriedades geométricas e de material da seção mista.	

- Verificação dos estados limites:** verificação do perfil de aço aos estados limites último e de serviço considerando primeiramente a interação da seção como completa e posteriormente como parcial.

Resumo da verificação de todos os estados limites: **0,999** **Atende todos os critérios de verificação!**

Preenchido automaticamente. Se o valor é menor ou igual a 1,00, então o perfil de aço atende a todos os critérios de verificação.

Valores preenchidos automaticamente dos parâmetros de esbeltez.

Esbeltez da alma e regime de cálculo (h/tw) = 44,696
 λ_p = 90,530
 λ_r = 137,240
 (h/tw)/ λ_r = 0,326

Atende!
 Cálculo do momento resistente deve ser feito no regime PLÁSTICO!

α , grau de interação = 0,54 Atende!
 α_{min} , grau de interação mínimo = 0,48849104859 Atende!
 n, número de conectores = 11

Inserir o valor do grau de interação (α). Inicialmente será 1,00 (Interação completa), posteriormente se possível será utilizado um valor menor que 1,00 (Interação Parcial).

Inserir o valor do fator de modificação do diagrama de momento fletor não uniforme. Será utilizado $C_b = 1,14$ para as vigas com cargas uniformemente distribuídas. E $C_b = 1,00$ para os demais casos.

Estado limite último: Verificação da viga de aço antes da cura do concreto
 L_b = 0
 C_b = 1,14
 $M_{pa,Sd}$ = 13675,20 kN.cm $\leq M_{pa,Rd} = 24598,50$ kN.cm Atende!
 $M_{pa,Sd}/M_{pa,Rd}$ = 0,556

Inserir o valor do comprimento destravado, em metros.

Estado limite último: Cálculo do momento resistente deve ser feito no regime PLÁSTICO!

LNP's no concreto e no perfil

$M_{vm,Sd}$ = 30105,60 kN.cm $\leq M_{vm,Rd} = 47036,62$ kN.cm Atende!
 $M_{vm,Sd}/M_{vm,Rd}$ = 0,640
 $V_{vm,Sd}$ = 150,53 kN $\leq V_{Rd} = 457,06$ kN Atende!
 $V_{vm,Sd}/V_{Rd}$ = 0,329

Verificação automática dos esforços solicitantes com os resistentes.

Tensão de cálculo f_{yd} na face inferior do perfil: Deve ser verificado para vigas mista sem escoramento.

$M_{Ga,Sd}$ = 10795,20 kN.cm
 $M_{L,Sd}$ = 18480,00 kN.cm
 $M_{Ga,Sd}/W_x + M_{L,Sd}/W_{ef,i}$ = 31,32664056 Atende!
 $(M_{Ga,Sd}/W_x + M_{L,Sd}/W_{ef,i})/f_{yd}$ = 0,998820424

Verificação automática da tensão solicitante de cálculo na face inferior do perfil.

Limitação de tensão para cálculo elástico da flecha: Deve ser verificado para vigas mistas calculadas no regime elástico ou plástico.

$M_{Ga,Sk}$ = 8304,00 kN.cm
 $M_{L,Sk}$ = 13200,00 kN.cm
 $M_{Ga,Sk}/W_x + M_{L,Sk}/W_{ef,i}$ = 23,22777679 Atende!
 $(M_{Ga,Sk}/W_x + M_{L,Sk}/W_{ef,i})/f_y$ = 0,673

Verificação automática da tensão solicitante na face inferior do perfil.

Valores preenchidos automaticamente dos momentos característicos (em kN.cm) devido às cargas de longa e curta duração, antes e após a cura do concreto.

Flechas: Calculadas com base em um diagrama de momento fletor parabólico.

$M_{p,pa,Sn}$ = 8304,00 kN.cm 2,258 cm
 $M_{p,ld,Sn}$ = 3600,00 kN.cm 0,341 cm
 $M_{v,cd,Sn}$ = 5760,00 kN.cm 0,432 cm
 $M_{v,ld,Sn}$ = 3840,00 kN.cm 0,363 cm
 $M_{p,te,Sn}$ = 0,00 kN.cm 0,000 cm

Inserir a porcentagem da contraflecha, podendo variar de 50% a 100% da flecha causada pelas cargas permanentes.

Contraflecha = 100% -2,000 cm Atende!

Total = 1,394 cm
 Limite (Le/350) = 2,286 cm Atende!
 Não tem alvenaria Atende!

Verificação automática das flechas provocadas na viga, considerando o diagrama de momento fletor parabólico.

Selecionar o deslocamento máximo a ser considerado: Viga de cobertura (Le/250), Viga de piso (Le/350) ou Viga que suporta pilar (Le/500). E se haverá alvenaria solidarizada ao perfil de aço

- Tabela de verificação dos perfis:** apresentará todos os perfis que atendem aos estados limites último e de serviço para aquela situação específica, bem como qual o menor grau de interação possível de ser utilizado.

Interação atual	0,54	Interação atual	0,54
Verificação atual	0,999	Verificação atual	0,999
W 150 x 13,0	6,322	0,488	1,009
W 150 x 18,0	4,499	0,490	1,009
W 150 x 24,0	3,271	0,500	1,007
W 200 x 15,0	4,486	0,510	1,005
W 200 x 19,3	3,537	0,520	1,003
W 200 x 22,5	3,021	0,530	1,001
W 200 x 26,6	2,438	0,540	0,999
W 200 x 31,3	2,059	0,550	0,997
W 250 x 17,9	3,345	0,560	0,995
W 250 x 22,3	2,668	0,570	0,993
W 250 x 25,3	2,318	0,580	0,992
W 250 x 28,4	2,035	0,590	0,990
W 250 x 32,7	1,702	0,600	0,988
W 250 x 38,5	1,426	0,610	0,986
W 250 x 44,8	1,230	0,620	0,985
W 310 x 21,0	2,538	0,630	0,983
W 310 x 23,8	2,236	0,640	0,981
W 310 x 28,3	1,827	0,650	0,980
W 310 x 32,7	1,565	0,660	0,978
W 310 x 38,7	1,239	0,670	0,977
W 310 x 44,5	1,078	0,680	0,975
W 310 x 52,0	0,921	0,690	0,974
W 360 x 32,9	1,413	0,700	0,972
W 360 x 39,0	1,170	0,710	0,971
W 360 x 44,0	0,999	0,720	0,969
W 360 x 51,0	0,877	0,730	0,968
W 360 x 57,8	0,782	0,740	0,966
W 360 x 64,0	0,693	0,750	0,965
W 360 x 72,0	0,621	0,760	0,964
W 360 x 79,0	0,560	0,770	0,962
W 410 x 38,8	1,081	0,780	0,961
W 410 x 46,1	0,901	0,790	0,959
W 410 x 53,0	0,766	0,800	0,958
W 410 x 60,0	0,675	0,810	0,957
W 410 x 67,0	0,599	0,820	0,956
W 410 x 75,0	0,540	0,830	0,954
W 410 x 85,0	0,477	0,840	0,953
W 460 x 52,0	0,748	0,850	0,952
W 460 x 60,0	0,638	0,860	0,951
W 460 x 68,0	0,555	0,870	0,949

Os perfis destacados em vermelho não atendem a todos os critérios de verificação.

Escolher o perfil mais leve que atende aos critérios de verificação (perfis destacados em verde).

Os valores destacados em vermelho não atendem a todos os critérios de verificação.

Escolher o menor grau de interação possível de ser utilizado (valores destacados em verde).

As etapas acima demonstraram todo o processo de dimensionamento da viga mista secundária em uma das direções. Será necessário repetir o mesmo processo de dimensionamento para viga mista secundária posicionada na outra direção, bem como para as vigas mistas principais.