

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
Escola de Engenharia
Programa de Pós-graduação em Análise e Dimensionamento de Estruturas de
Concreto Armado e Aço

Rogério Magalhães Rodrigues

Ferramenta computacional para parametrização, pré-dimensionamento e geração
de orçamento para lajes mistas de aço e concreto

Belo Horizonte
2021

Rogério Magalhães Rodrigues

Ferramenta computacional para parametrização, pré-dimensionamento e geração de orçamento para lajes mistas de aço e concreto

Monografia de especialização apresentada à Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço.

Orientador: Rodrigo Barreto Caldas

Belo Horizonte

2021

R696f

Rodrigues, Rogério Magalhães.

Ferramenta computacional para parametrização, pré-dimensionamento e geração de orçamento para lajes mistas de aço e concreto [recurso eletrônico] / Rogério Magalhães Rodrigues. – 2021.
1 recurso online (53 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 Análise e Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado e Aço”

Anexos: f. 51-53.

Bibliografia: f. 50.

Exigências do sistema: Adobe Acrobat Reader.

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

CDU: 624



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE ENGENHARIA

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

ATA DA DEFESA DE ROGÉRIO MAGALHÃES RODRIGUES

TÍTULO: FERRAMENTA COMPUTACIONAL PARA PARAMETRIZAÇÃO, PRÉ-DIMENSIONAMENTO E GERAÇÃO DE ORÇAMENTO PARA LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO

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: 95 (noventa e cinco pontos)

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

Avaliador 2 Nota: 95 (noventa e cinco pontos)

Aprovada em 07 de dezembro de 2021



Documento assinado eletronicamente por **Rodrigo Barreto Caldas, Membro de comissão**, em 15/12/2021, às 17:51, 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 15/12/2021, às 23:41, 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 **1135250** e o código CRC **9CC60A3C**.

À Deus Todo Poderoso.

À minha esposa e aos meus filhos.

Ao professor Rodrigo Barreto Caldas, meu orientador, que em todo o transcorrer dos trabalhos, apontou de forma precisa e concisa o melhor andamento para o desenvolvimento deste estudo, encorajando a cada passo a frente, balizando o escopo e norteando o foco para um resultado bem-sucedido.

Aos meus pais pelos valores em mim impressos.

À Elaine. Esposa, companheira e apoiadora em todos os momentos de sacrifício, e aos meus filhos, Ana Júlia, Ana Carolina e Arthur, que apoiaram este empreendimento apesar dos momentos de renúncia.

Em especial a Deus Todo Poderoso, que me permitiu chegar até aqui.

“Todo aquele, pois, que escuta estas minhas palavras, e as pratica, assemelhará-lo-ei ao homem prudente, que edificou a sua casa sobre a rocha;
E desceu a chuva, e correram rios, e assopraram ventos, e combateram aquela casa, e não caiu, porque estava edificada sobre a rocha.
E aquele que ouve estas minhas palavras, e não as cumpre, compará-lo-ei ao homem insensato, que edificou a sua casa sobre a areia;
E desceu a chuva, e correram rios, e assopraram ventos, e combateram aquela casa, e caiu, e foi grande a sua queda.” Bíblia Sagrada Mateus 7:24-27

Resumo

Este trabalho tem por objetivo apresentar uma ferramenta composta por rotinas de programação e planilha eletrônica para o dimensionamento e orçamentação de lajes tipo *steel deck*, utilizando telha-fôrma de aço produzida pela METFORM S/A. O processamento foi subdividido em quatro etapas distintas. A primeira se refere à escolha da telha-fôrma (altura x espessura) e geometria mais econômicas, segundo parâmetros arbitrados previamente. A segunda corresponde ao cálculo das ações e reações produzidas e atuantes sobre a laje na fase de construção, baseado na configuração de laje mista escolhida dentre as viáveis apresentadas na primeira etapa. Neste caso, é sugerida uma configuração que é a com melhor performance, considerando os parâmetros arbitrados naquela etapa. Na terceira etapa são filtrados os perfis para as vigas secundárias, através da verificação dos estados limites, devendo ser escolhido aquele que apresente melhor desempenho e/ou adequação ao projeto como um todo. Finalmente, na quarta etapa são calculados e apresentados os custos estimados para a execução da laje objeto de estudo.

Palavras-chave: Laje mista de aço e concreto. Telha-fôrma de aço. *Steel Deck*.

Abstract

This paper aims to introduce a tool composed of programming routines and electronic spreadsheets for the sizing and budgeting of concrete slabs on steel form deck, using steel deck floor produced by METFORM S/A. The processing was split into four distinct stages. The first stage refers to the choice of the cheaper steel shape (height x thickness) and geometry alternative, according to previously arbitrated parameters. The second stage corresponds to the calculation of produced and active actions and reactions on the slab during the construction phase, based on the composite slab configuration chosen among the viable alternatives presented in the first step. In this case, a configuration that is the single one with the best performance is suggested, considering the arbitrated parameters in that step. In the third stage, the shapes for the secondary beams are selected by verifying of the limit states, and the single one with the best performance and/or suitability for the entire project must be chosen. Finally, in the fourth stage, the estimated costs of execution of the slab object of study are calculated and showed.

Keywords: Concrete slabs on formed steel deck. Steel floor deck. Steel Deck.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 - CHARNEIRA PLÁSTICA	21
FIGURA 2 - CISALHAMENTO HORIZONTAL	22
FIGURA 3 - CISALHAMENTO VERTICAL	23
FIGURA 4 - MF50 (COM ALTURA DE 50MM)	24
FIGURA 5 - MF75 (COM ALTURA DE 75MM)	24
FIGURA 6 - NERVURAS PARALELAS AO PERFIL DE AÇO	27
FIGURA 7 - NERVURAS PERPENDICULARES AO PERFIL DE AÇO	27
FIGURA 8 - DEFINIÇÃO DOS NOMES DE RELATÓRIOS E LOCAL DE SALVAMENTO	32
FIGURA 9 - BOTÕES DE COMANDO PARA PROCESSAMENTO	33
FIGURA 10 - ENTRADA DE DADOS DA 1ª ETAPA	34
FIGURA 11 - TABELA DE RESULTADOS DA 1ª ETAPA	36
FIGURA 12 - EXEMPLO DE RELATÓRIO DE CONFIGURAÇÕES GERADO	36
FIGURA 13 - ENTRADA DE DADOS DA 2ª ETAPA – CONFIGURAÇÕES/CARREGAMENTO	37
FIGURA 14 - ENTRADA DE DADOS DA 2ª ETAPA - ARBITRANDO ALTURA DA LAJE	38
FIGURA 15 - DECLARAÇÃO DE CARREGAMENTOS	39
FIGURA 16 - REAÇÕES SOBRE AS VIGAS SECUNDÁRIA E PRINCIPAL NAS FASES DE CONSTRUÇÃO E UTILIZAÇÃO	40
FIGURA 17 - RELATÓRIO DE CARACTERIZAÇÃO DA CONFIGURAÇÃO ESCOLHIDA E DE REAÇÕES	41
FIGURA 18 - ESCOLHA DE PERFIL COMPATÍVEL PARA VIGAS SECUNDÁRIAS - LISTA DE PERFIS	42
FIGURA 19 - RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PERFIL ESCOLHIDO PARA A VIGA SECUNDÁRIA	44
FIGURA 20 - ESCOLHA DE PERFIL COMPATÍVEL PARA VIGAS PRINCIPAIS - LISTA DE PERFIS	45
FIGURA 21 - RELATÓRIO DE VERIFICAÇÃO DE PERFIL ESCOLHIDO PARA A VIGA PRINCIPAL	46
FIGURA 22 - ENTRADA DE DADOS DOS PREÇOS UNITÁRIOS E CÁLCULO DO ORÇAMENTO EXPEDITO	47
FIGURA 23- RELATÓRIO DO ORÇAMENTO EXPEDITO DA SIMULAÇÃO	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Relação $h/tw \times a \times MRd$	28
Tabela 2 - Coeficientes de ponderação	39

LISTA DE SÍMBOLOS

α	grau de interação entre o perfil de aço e a laje de concreto
α_E	razão entre os módulos de elasticidade do aço e do concreto
α_i	Fator utilizado no cálculo do módulo de elasticidade, função da resistência a compressão do concreto
$\alpha_{\text{mín}}$	grau de interação mínimo
δ_{adm}	flecha admissível
δ_c	contraflecha
$\delta_{\text{máx}}$	flecha máxima
$\delta_{p,ld}$	flecha da seção mista (ações permanentes após a cura do concreto)
$\delta_{p,pa}$	flecha do perfil de aço (ações permanentes antes da cura do concreto)
$\delta_{p,te}$	flecha provocada por ação no perfil de aço isolado que é eliminada após a cura do concreto
$\delta_{v,cd}$	flecha causada por ações variáveis de curta duração
$\delta_{v,ld}$	flecha causada por ações variáveis de longa duração
γ_{a1}	coeficiente de ponderação da resistência de aço de perfil estrutural aplicável aos estados limites últimos relacionados ao escoamento e à instabilidade
γ_c	coeficiente de ponderação da resistência do concreto
γ_{cs}	coeficiente de ponderação da resistência do conector
λ	índice de esbeltez
ψ_1	fator de redução para valores frequentes associado ao local/tipo de elemento/detalhamento
ψ_2	fator de redução para valores quase permanentes associado ao local/tipo de elemento/detalhamento
a	espessura comprimida da laje de concreto
A_a	área da seção transversal o perfil de aço
A_{cs}	área da seção transversal do fuste do conector
A_w	área da alma, considerando a altura total do perfil
b_f	largura das mesas
b_F	largura média das nervuras de aço
b_{tr}	largura transformada da seção mista homogeneizada
C_b	fator de modificação para o diagrama de momento fletor não-uniforme
C_w	constante de empenamento da seção transversal
C_{ad}	força resistente de cálculo da região comprimida do perfil de aço
C_{cd}	força resistente de cálculo da espessura comprimida da laje de concreto

d	altura do perfil de aço
d_1	distância do centro geométrico do perfil de aço até sua face superior
d_{cs}	diâmetro do conector
E_a	módulos de elasticidade do aço
E_c	módulos de elasticidade do concreto
f_{cd}	resistência de cálculo do concreto à compressão
f_{ck}	resistência característica do concreto à compressão
F_{hd}	esforço horizontal de cálculo
FLA	flambagem local da alma
FLM	flambagem local mesa
FLT	flambagem lateral com torção
f_{ucs}	resistência à ruptura do aço dos conectores
f_y	resistência ao escoamento do aço
f_{yd}	resistência de cálculo ao escoamento do aço
h	altura da alma
H	dimensão horizontal da laje mista
h_F	altura das nervuras da fôrma de aço
I_x	momento de inércia em relação ao eixo x
I_y	momento de inércia em relação ao eixo y
I_{tr}	momento de inércia da seção homogeneizada
J	constante de torção
kN	quilonewton
kN.cm	quilonewton centímetro
kN.m	quilonewton metro
kN/m	quilonewton por metro
kN/m ²	quilonewton por metro quadrado
k_v	coeficiente de flambagem da alma por cisalhamento
L_b	comprimento destravado da viga
L_e	vão teórico
L_F	vão teórico da fôrma na direção das nervuras
m	metro
$M_{Ga,Sk}$	momento fletor considerando a atuação apenas das cargas permanentes antes da cura do concreto
$M_{L,Sk}$	momento fletor considerando a atuação apenas das cargas após da cura do concreto
mm	milímetro
MPa	mega Pascal
$M_{pa,Sd}$	momento fletor solicitante de cálculo no perfil de aço antes da cura
M_{Rd}	momento fletor resistente de cálculo
M_{Sd}	momento fletor solicitante de cálculo
$M_{vm,Sd}$	momento fletor solicitante de cálculo na viga mista
n	número de conectores necessários entre cada seção de momento nulo e a seção de momento máximo
q	carga distribuída no piso

q_d	carga distribuída no piso de cálculo
$q_{pa,d}$	carga distribuída de cálculo no perfil de aço
Q_{Rd}	força horizontal resistente de cálculo de um conector
$q_{vm,d}$	carga distribuída de cálculo na viga mista
R_g	coeficientes para consideração do efeito de atuação grupo de conectores
R_p	coeficientes para consideração da posição do conector
r_y	raio de giração em relação ao eixo central y
t_c	altura de concreto acima do topo da fôrma de aço
t_f	espessura da mesa do perfil de aço
t_w	espessura da alma do perfil de aço
T_{ad}	força resistente de cálculo do perfil de aço totalmente tracionado
V	dimensão vertical da laje mista
V_{cr}	força cortante crítica elástica
$V_{Ga,Sk}$	reação de apoio considerando apenas cargas permanentes antes da cura do concreto
$V_{L,Sk}$	reação de apoio considerando apenas cargas após da cura do concreto
$V_{máx}$	força cortante máxima
$V_{pa,Sd}$	reação de apoio solicitante de cálculo atuando sobre o perfil de aço considerando apenas cargas antes da cura do concreto
$V_{pa,Sk}$	reação de apoio atuando sobre o perfil de aço considerando apenas cargas antes da cura do concreto
V_r	força cortante
V_{Rd}	força cortante resistente de cálculo.
V_{Rk}	força cortante de flambagem elástica ou força cortante crítica elástica
V_{Sd}	força cortante solicitante de cálculo
$V_{vm,Sd}$	força cortante solicitante de cálculo na viga mista
$W_{tr,i}$	módulo de resistência elástico inferior da seção homogeneizada
$W_{tr,s}$	módulo de resistência elástico superior da seção homogeneizada
$W_{ef,i}$	módulo de resistência elástico inferior efetivo da seção homogeneizada
$W_{a,i}$	módulo de resistência elástico inferior do perfil de aço
W_x	módulo de resistência elástico em relação ao eixo x
y_t	distância do centro geométrico da parte tracionada do perfil de aço até sua face inferior
y_c	distância do centro geométrico da parte comprimida do perfil de aço até sua face superior
$y_{tr,i}$	posição da LNE em relação à face inferior do perfil de aço
Z_x	módulo de resistência plástica em relação ao eixo x

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
NBR	norma técnica brasileira
MF50	telha-fôrma fabricada pela METFORM com 50mm de altura
MF75	telha-fôrma fabricada pela METFORM com 75mm de altura
UFMG	Universidade Federal de Minas Gerais
EUROCODE	normas técnicas europeias de responsabilidade do Comitê Europeu de Normalização
FLA	flambagem local da alma
FLT	flambagem lateral com torção
FLM	flambagem local da mesa
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	17
2. PROGRAMAS UTILIZADOS	18
3. REVISÃO DE LITERATURA	18
3.1. TELHA-FÔRMA	18
3.1.1. DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS AOS ESTADOS LIMITES NA FASE INICIAL	19
3.1.2. DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS AOS ESTADOS LIMITES NA FASE FINAL	20
3.1.3. TELHA-FÔRMA METFORM	23
3.1.4. TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA AS FASES INICIAL E FINAL	25
3.2. VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE DO PERFIL	26
3.2.1. ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS APLICÁVEIS À VIGA MISTA	26
3.2.2. PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO	27
3.2.3. DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO	28
3.2.4. CONECTORES DE CISALHAMENTO	28
3.2.5. DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS À FORÇA CORTANTE	29
3.2.6. ARMADURA DE COSTURA PARA EVITAR RUPTURA DA LAJE POR CISALHAMENTO	30
3.2.7. ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO	30
3.2.8. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS COMPLEMENTARES PARA AS LAJES DE CONCRETO COM FÔRMA DE AÇO INCORPORADA	31
4. PROCESSAMENTO	32
4.1. ROTINA COMPUTACIONAL PARA DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA LAJE	33
4.2. CÁLCULO DAS AÇÕES E REAÇÕES NA FASE DE CONSTRUÇÃO	36
4.2.1. AÇÕES	38
4.2.2. REAÇÕES	39
4.3. ESCOLHA DO PERFIL MAIS EFICIENTE	41

4.3.1. VERIFICAÇÃO DE ESTADOS LIMITES PARA HABILITAÇÃO DE PERFIS PARA AS VIGAS SECUNDÁRIAS E DEFINIÇÃO DO PERFIL ESCOLHIDO	41
4.3.2. VERIFICAÇÃO DE ESTADOS LIMITES PARA HABILITAÇÃO DE PERFIS PARA AS VIGAS PRINCIPAIS E DEFINIÇÃO DO PERFIL ESCOLHIDO	44
4.4. ORÇAMENTO EXPEDITO	46
4.4.1. A FORMAÇÃO DO PREÇO	46
4.4.2. CÁLCULO DO ORÇAMENTO EXPEDITO DA CONFIGURAÇÃO ESCOLHIDA	47
5. CONCLUSÕES	48
REFERÊNCIAS	50
ANEXOS	51

1. INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo a apresentação de processo computacional para execução de pré-dimensionamento de uma laje mista de aço e concreto, com utilização de formas metálicas trapezoidais (telha-fôrma), fabricadas pela empresa METFORM, sendo obtido ao final de cada simulação, um orçamento expedito, que servirá de parâmetro adicional para escolha de uma estrutura com melhor custo/benefício.

Este processo foi dividido em quatro etapas, a saber:

- Identificação dos parâmetros geométricos viáveis para a laje;
- Cálculo das ações e reações na fase de construção;
- Verificação de estados limites para habilitação e escolha de perfis:
 - para as vigas secundárias;
 - para as vigas principais;
- Geração de orçamento expedito.

Na primeira etapa são identificadas a altura total da laje e o vão máximo sem escoramento por tipo (simples, duplo ou triplo) viáveis, em função das combinações entre a altura da fôrma, a espessura da fôrma e a orientação das vigas secundárias (horizontal ou vertical), gerando doze alternativas, sendo sugerida a configuração com melhor performance, considerando:

- menor comprimento total de vigas secundárias;
- menor peso próprio da laje; e
- caso as combinações orientação das vigas secundárias (menor comprimento total de vigas) / altura da fôrma (menor peso próprio da laje) sejam iguais para as duas espessuras de forma, será escolhida a de menor espessura.

Tais resultados permitem calcular o número de vigas secundárias.

Na sequência, são apresentados os resultados gerados na etapa anterior e é feito o carregamento da estrutura. Nessa etapa, também é oferecida a possibilidade de escolha da configuração da altura da fôrma, espessura da fôrma e orientação das vigas secundárias, que podem ser diferentes das sugeridas. Em seguida, são calculados o carregamento e reações que atuam sobre a estrutura.

Na terceira etapa, a partir de informações físicas e geométricas da estrutura, de parâmetros de contorno e características de concepção, é feita a

verificação de habilitação de perfis metálicos, para vigas secundárias e principais, quanto ao atendimento aos requisitos dos estados limites indicados em norma técnica.

Finalmente, tendo como referência preços unitários obtidos através de tabelas referenciais e pesquisas de mercado, em função da estrutura definida (laje/vigas secundárias e principais) é gerado um orçamento expedito para análise de viabilidade.

2. PROGRAMAS UTILIZADOS

Foram utilizados os seguintes programas no desenvolvimento do trabalho:

- Microsoft Excel;
- Visual Basic.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1. TELHA-FÔRMA

Conforme a ABNT NBR 16421:2015, a telha-fôrma é “revestida, conformada a frio, de seção transversal trapezoidal, reentrante, retangular, ondulada, entre outras, com os seguintes tipos de revestimento: a) zincado por imersão a quente; b) zincado por imersão a quente e revestido por um processo de pintura.”

O manual Telha-fôrma METFORM (2019) indica que as telhas-fôrma oferecem dupla funcionalidade: 1) fôrma para concreto durante a construção; e 2) armadura positiva de lajes para as cargas de serviço.

Dentre as principais vantagens, o manual destaca:

- Alta qualidade de acabamento da laje;
- Permite utilização de viga mista;
- Dispensa escoramento e reduz desperdício de material;
- Facilidade de instalação e maior rapidez construtiva;
- Funciona como plataforma de serviço e proteção aos operários que trabalham nos andares inferiores, propiciando maior segurança; e
- Apresenta facilidade para a passagem de dutos das diversas instalações, favorecendo também a fixação de forros.

De acordo com o manual, basicamente são três os materiais utilizados na confecção de lajes mistas tipo Steel Deck:

- Telha-fôrma de aço;
- Concreto de resistência à compressão mínima com $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e máxima com $f_{ck} = 50\text{MPa}$; e
- Armadura para controle de fissuração, tendo uma área mínima de 0,1% da área de concreto acima do topo da fôrma metálica.

3.1.1. DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS AOS ESTADOS LIMITES NA FASE INICIAL

3.1.1.1. VERIFICAÇÃO DA FÔRMA DE AÇO NA FASE INICIAL AOS ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO

Conforme ABNT NBR 8800:2008, na fase inicial, quando a fôrma de aço não é escorada durante a concretagem, o deslocamento máximo da fôrma de aço sob seu peso próprio e o peso concreto fresco (excluindo-se a sobrecarga de construção) não deve exceder $L_F / 180$ ou 20mm, o que for menor, onde L_F é o vão teórico da fôrma na direção das nervuras. Quando se empregam tabelas de dimensionamento como a Tabela MF50 (ANEXO A) ou a Tabela MF75 (ANEXO A), esses valores são automaticamente atendidos. As propriedades geométricas da seção transversal devem ser determinadas de acordo com a ABNT NBR 14762:2010.

Segundo Fakury et al. (2016), como as fôrmas não são escoradas, sabendo-se da ocorrência de deslocamentos verticais dos apoios para o centro da laje quando da concretagem, deve-se ter especial controle sobre a altura da laje em toda sua área, executando seu nivelamento quando a laje mista estiver funcionando, após a cura do concreto.

3.1.1.2. VERIFICAÇÃO DA FÔRMA DE AÇO NA FASE INICIAL AOS ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS

Como relatado em Fakury et al. (2016), na fase Inicial a fôrma deve suportar, de forma isolada, as ações atuantes durante a construção, sendo usualmente:

- a) Pesos próprios do concreto fresco, da fôrma de aço, da tela soldada para evitar fissuração e de eventuais armaduras adicionais;

b) Sobrecarga de construção, considerando uma carga uniformemente distribuída com valor característico mínimo de 1kN/m^2 ; e

c) Efeito de empoçamento, caso o deslocamento no centro do vão da fôrma, calculado com o seu peso próprio somado ao do concreto fresco, ultrapasse o valor de $L_F / 250$, suposto como um acréscimo na espessura nominal do concreto de 70% do valor do deslocamento.

Nesta etapa deve ser empregada análise elástica, utilizando como referência a ABNT NBR 14762:2010. Cabe observar que, se a fôrma for calculada como contínua, os esforços solicitantes podem ser determinados sem considerar variação de rigidez, mesmo que ocorra flambagem em partes comprimidas da seção.

Além disso, durante a verificação da fôrma ao momento fletor, a sobrecarga de construção deve ser substituída por uma carga linear de $2,2\text{kN/m}$ perpendicular à direção das nervuras, na posição mais desfavorável, se esta for mais nociva.

3.1.2. DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS AOS ESTADOS LIMITES NA FASE FINAL

3.1.2.1. VERIFICAÇÃO DA LAJE NA FASE FINAL AOS ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO

A ABNT NBR8800:2008 prevê, nesta fase, a verificação ao estado-limite de serviço quanto à fissuração do concreto e quanto ao deslocamento vertical.

Na primeira verificação, analisa-se a fissuração do concreto em regiões de momento negativo de lajes contínuas ou, no caso de lajes simplesmente apoiadas, combate-se a fissuração causada pela retração e pela temperatura, utilizando-se de armadura com área não inferior a 0,1% da área de concreto acima da face superior da fôrma. Deve ser considerada a possibilidade de fissuração nos locais com tendência de continuidade dos elementos estruturais, como ligações de vigas secundárias com vigas principais e em relação a pilares.

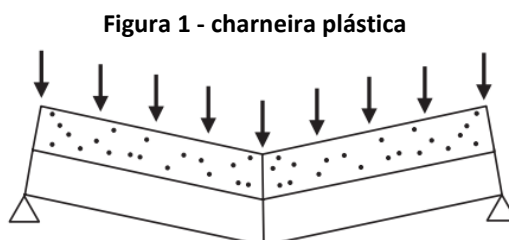
Para a segunda verificação, considerando apenas o efeito das ações variáveis, o deslocamento das lajes mistas não pode ser superior a $L_F / 350$.

3.1.2.2. VERIFICAÇÃO DA LAJE NA FASE FINAL AOS ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS

Nesta fase, conforme definição da ABNT NBR 8800:2008, a resistência de cálculo das lajes mistas deverá ser capaz de suportar o momento fletor (suportado pelo momento fletor resistente de cálculo), a força cortante longitudinal (suportada pela força cortante longitudinal resistente de cálculo de laje com fôrma de aço incorporada), a força cortante vertical (suportada pela força cortante vertical resistente de cálculo de laje com fôrma de aço incorporada) e a punção (suportada pela força cortante resistente de cálculo à punção). No entanto, neste trabalho, em função das tabelas utilizadas (Anexo A) considerarem apenas cargas distribuídas, a punção não será verificada.

O sistema misto de aço e concreto (fôrma de aço e concreto trabalhando em conjunto) sustentará todo o carregamento, sendo aplicáveis os estados-limites últimos descritos a seguir:

- Plastificação de uma linha da laje na direção perpendicular às nervuras pela ação do momento fletor (Figura 1), linha esta denominada charneira plástica, em um mecanismo similar à formação de rótula plástica de vigas de aço;



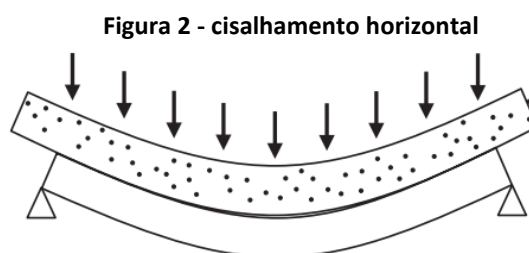
Fonte: Fakury et al. (p. 384)

A fôrma de aço deve resistir aos esforços de tração em conjunto com uma armadura adicional, caso exista, colocada na face inferior da laje, quando da definição do **momento fletor positivo resistente de cálculo**.

Deve-se observar que a norma prevê o cálculo deste momento fletor com ou sem armadura adicional, conforme a configuração considerada. No caso em estudo (telhas-fôrma METFORM), o dimensionamento das tabelas, constantes no Anexo A, já consideram tais configurações.

Para o **momento fletor negativo resistente de cálculo sobre os apoios em lajes contínuas**, apenas se a fôrma de aço for contínua é que sua contribuição para resistência aos esforços de compressão será levada em consideração (item Q.3.1.1 do Anexo Q da ABNT NBR 8800:2008). Esta reação não é considerada no dimensionamento das tabelas do Anexo A, uma vez que estas sempre utilizam como modelo estrutural lajes simplesmente apoiadas.

- Colapso por cisalhamento longitudinal (na direção das nervuras), causado pela força cortante (Figura 2 - cisalhamento horizontal).

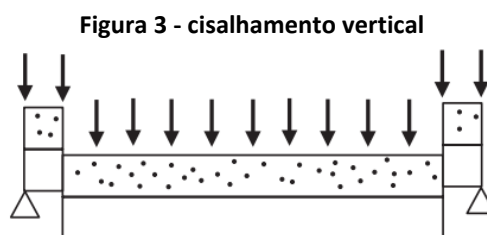


Fonte: Fakury et al. (p. 384)

A ocorrência deste estado-limite último se caracteriza pelo deslizamento relativo entre a fôrma de aço e o concreto, quando a capacidade resistente da ligação mecânica é superada.

Pode-se utilizar a NBR 8800:2008 para determinação da força cortante resistente de cálculo para este estado-limite último. No entanto, é necessário conhecer as constantes m e k , que podem ser obtidas apenas através de ensaios experimentais específicos para cada tipo de fôrma. As tabelas constantes no Anexo A já levam em consideração os resultados obtidos em ensaios.

- Colapso por cisalhamento vertical, causado pela força cortante (Figura 3 - cisalhamento vertical);



Fonte: Fakury et al. (p. 384)

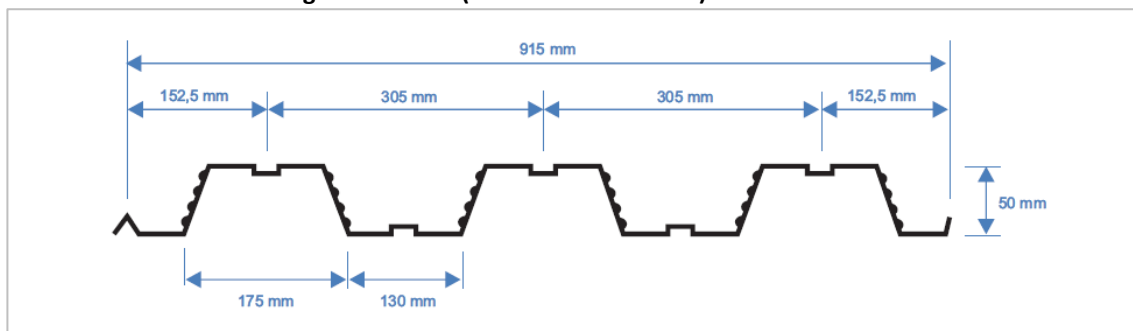
A força cortante vertical resistente de cálculo de laje com fôrma de aço incorporada é obtida pela soma das forças cortantes verticais resistentes de cálculo da fôrma de aço incorporada e do concreto. O resultado desta soma deve ser tomado respeitando o limite da força cortante ($V_{máx}$), determinado por equação apresentada no item Q.3.1.3.3 do Anexo Q da NBR 8800:2008. Mais uma vez, as tabelas para dimensionamento, constantes no Anexo A, já consideram tais solicitações em seus resultados.

3.1.3. TELHA-FÔRMA METFORM

A telha-fôrma, ou fôrma para Steel Deck, fabricada pela METFORM e descrita no manual Telha-fôrma METFORM (2019), é produzida em aço especial zincado de alta resistência (ZAR 280 - $f_y = 280\text{MPa}$, ASTM A 653, Grau 40) e em configurações combinadas de altura e espessura, tendo a MF50 50mm e a MF75 75mm de altura, sendo ambas fabricadas com espessuras de 0,80mm, 0,95mm e 1,25mm.

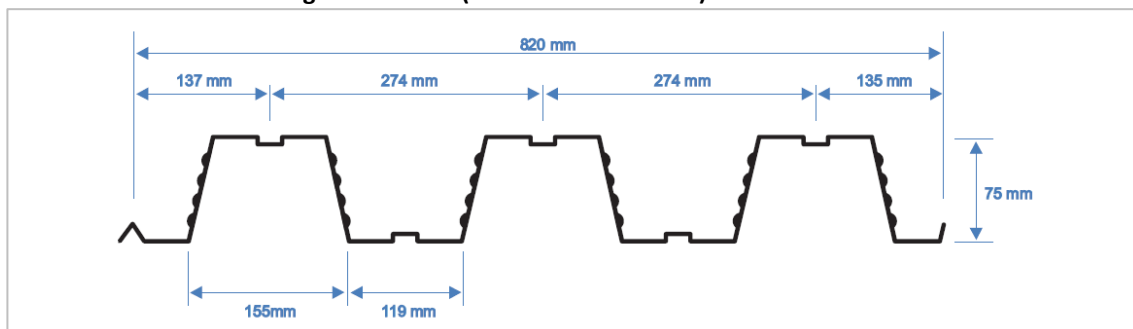
A Figura 4 e a Figura 5 apresentam as duas configurações geométricas de telha-fôrma fabricadas pela METFORM.

Figura 4 - MF50 (com altura de 50mm)



Fonte: manual Telha-fôrma METFORM (2019)

Figura 5 - MF75 (com altura de 75mm)



Fonte: manual Telha-fôrma METFORM (2019)

Está em conformidade com a NBR 16421:2015 - Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - requisitos e ensaios e NBR 8800:2008 - Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios.

A verificação ao cisalhamento longitudinal do sistema de Laje mista - Telha-fôrma da METFORM, foi realizada conforme item Q.3.1.2 da NBR 8800:2008 através do método semi-empírico "m e k". As constantes empíricas "m e k" foram determinadas através de um programa de testes no Laboratório de Análise Experimental de Estruturas da Escola de Engenharia da UFMG, atendendo as prescrições da EUROCODE 4 Part 1-1.

3.1.4. TABELAS DE DIMENSIONAMENTO PARA AS FASES INICIAL E FINAL

As tabelas de dimensionamento METFORM, apresentadas no Anexo A, consideram as fases inicial e final.

Na fase inicial, a verificação se concentra na definição do vão máximo sem escoramento, que pode ser simples, duplo, triplo ou em balanço, sendo que o vão simples corresponde à fôrma simplesmente apoiada, o vão duplo à fôrma contínua com dois vãos consecutivos e o vão triplo à fôrma contínua com três vãos consecutivos, sendo em cada caso, o comprimento do vão correspondente indicado na tabela. Durante a concretagem, deverá ser feito o escoramento da fôrma, caso o vão escolhido seja maior que o vão tabelado, conforme o tipo (simples, duplo, triplo ou em balanço).

Já na fase final, a verificação é feita através da determinação da “máxima carga uniformemente distribuída sobreposta que pode atuar em determinado vão, entre vigas de suporte” (Fakury 2016, p. 385). Como em seu dimensionamento as tabelas têm como premissa que a laje sempre será simplesmente apoiada, a armadura negativa sobre as vigas de suporte não é prevista, pois se assim o fosse, a laje seria entendida como contínua.

Nos cálculos para os dimensionamentos de laje são considerados, conforme indicado no manual Telha-fôrma METFORM (2019):

- O peso próprio da laje, determinado considerando-se concreto de densidade normal (2.400kg/m^3). Entretanto, para se computar as cargas sobrepostas à laje, o valor do peso próprio não precisa ser considerado;
- Concreto de resistência à compressão mínima $f_{ck} = 20\text{MPa}$ e ¹ máxima $f_{ck} = 50\text{MPa}$;
- Lajes com altura total de 100mm para MF-50 e 130mm para MF-75 devem ser utilizadas apenas como lajes de forro.

¹ A limitação de resistência à compressão máxima não é indicada no manual Telha-fôrma METFORM (2019), mas sim no item 4.5.3.1 da ABNT NBR 8800:2008.

Em complemento a essas prescrições, “para evitar que se atinjam estados-limites últimos relacionados a problemas localizados, como enrugamento da alma da fôrma de aço ou esmagamento do apoio” (Fakury, 2016, p. 386), o manual Telha-fôrma METFORM (2019) prescreve que:

“Os valores recomendados para as larguras de apoio são:
Telha-fôrma MF 75: 75mm (apoios externos) e 150mm (apoios internos);
Telha-fôrma MF 50: 50mm (apoios externos) e 100mm (apoios internos);”.

3.2. VERIFICAÇÃO DE VIABILIDADE DO PERFIL

3.2.1. ESTADOS-LIMITES ÚLTIMOS APLICÁVEIS À VIGA MISTA

Nestas vigas, conforme Facury et al. (2016) em sua explanação sobre dimensionamento de vigas mistas ao momento fletor, há que se considerar somente o estado-limite último gerado pelo momento fletor, associado apenas à flambagem local da alma (FLA), uma vez que, não pode ocorrer a flambagem lateral com torção (FLT), pois a mesa superior do perfil de aço está ligada à laje, através dos conectores de cisalhamento. Em complemento, mesmo que esta mesa esteja comprimida, sua flambagem local (FLM) não ocorrerá como um estado limite-último, pois a laje de concreto é o principal elemento de resistência às tensões correspondentes.

A relação entre a altura h e a espessura t_w da alma determina a ocorrência do estado-limite último de FLA, sendo que este não acontece caso:

$$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$$

No qual o colapso da viga mista se dá por plastificação total da seção transversal (formação de rótula plástica).

A referência do valor da relação h/t_w é própria de perfis duplamente simétricos. No entanto, no caso de vigas mistas, por simplificação, é aplicável a perfis monossimétricos.

Tem-se então a possibilidade de ocorrência de FLA em regime elastoplástico caso:

$$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$$

Deve-se nessa situação trabalhar nos limites do regime elástico, uma vez que, caso o regime elastoplástico seja alcançado, poderá ocorrer a flambagem.

Neste caso, a viga tem alma esbelta e não pode ser calculada como viga mista segundo a ABNT NBR 8800:2008 (Anexo O, subitem O.1.1.2-c)

Desta forma, “considera-se como estado-limite último o início do escoamento por tração da face inferior do perfil de aço ou o esmagamento da face superior da laje de concreto por compressão”. (Fakury, 2016, p. 407)

3.2.2. PROCESSO DE DIMENSIONAMENTO

Para o dimensionamento de vigas mistas de aço e concreto ao momento fletor, o momento fletor solicitante de cálculo (M_{Sd}) deve ser menor ou igual ao momento resistente de cálculo (M_{Rd}), ou seja:

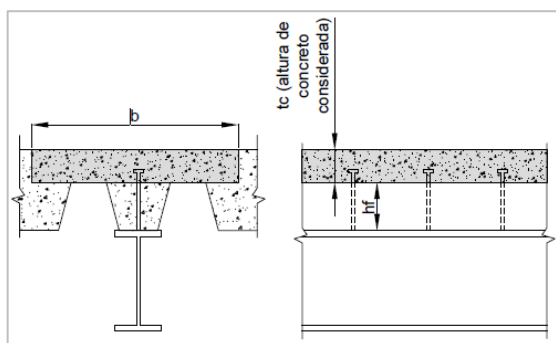
$$M_{Sd} \leq M_{Rd}$$

Onde o M_{Rd} corresponde ao momento fletor de plastificação ou o que dá início ao escoamento do perfil de aço ou de esmagamento do concreto, dependendo da relação h/t_w do perfil e do fator α , sendo este fator o grau de interação entre o perfil de aço e a laje de concreto, dado pela equação:

$$\alpha = \frac{n \cdot Q_{Rd}}{F_{hd}}$$

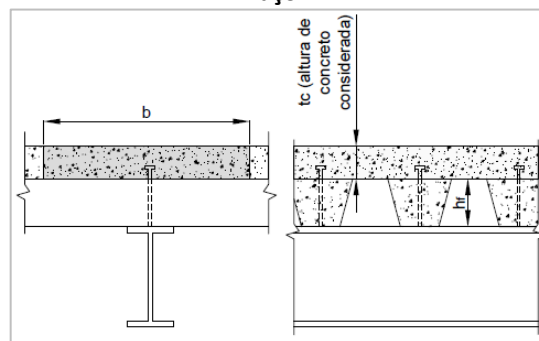
No caso em estudo, como forma de simplificação, é considerado apenas o concreto acima da face superior das nervuras, com nervuras paralelas ou perpendiculares ao perfil de aço (Figura 6 e Figura 7).

Figura 6 - Nervuras paralelas ao perfil de aço



Fonte: Fakury et al. (p. 408)

Figura 7 - Nervuras perpendiculares ao perfil de aço



Fonte: Fakury et al. (p. 408)

3.2.3. DETERMINAÇÃO DO MOMENTO FLETOR RESISTENTE DE CÁLCULO

A determinação do momento fletor resistente de cálculo depende da combinação dos resultados da relação h/t_w e do fator α , conforme a Tabela 1 a seguir:

Tabela 1 - Relação h/t_w x α x M_{Rd} , conforme NBR 8800:2008.

h/t_w	α	M_{Rd}
$\frac{h}{t_w} \leq 3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$	$\geq 1,0$	Linha neutra plástica na laje: $M_{Rd} = T_{ad} \cdot \left(d_1 + h_F + t_c - \frac{a}{2} \right)$ Linha neutra plástica no perfil de aço: $M_{Rd} = C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(\frac{t_c}{2} + h_F + d - y_t \right)$
	$\alpha_{\min} \leq \alpha < 1,0$	$M_{Rd} = C_{ad} \cdot (d - y_t - y_c) + C_{cd} \cdot \left(t_c - \frac{a}{2} + h_F + d - y_t \right)$
$3,76 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}} < \frac{h}{t_w} \leq 5,70 \cdot \sqrt{\frac{E_a}{f_y}}$	$\geq 1,0$	$M_{Rd} \leq \left(\frac{W_{tr,i} \cdot f_{yd}}{\alpha_E \cdot W_{tr,s} \cdot f_{cd}} \right)$ módulos obtidos através de: $W_{tr,i} = \frac{I_{tr}}{y_{tr,i}}$ $W_{tr,s} = \frac{I_{tr}}{d + h_F + t_c - y_{tr,i}}$
	$\alpha_{\min} \leq \alpha < 1,0$	$M_{Rd} \leq \left(\frac{W_{ef,i} \cdot f_{yd}}{\alpha_E \cdot W_{tr,s} \cdot f_{cd}} \right)$ módulos obtidos através de: $W_{ef,i} = W_{a,i} + \sqrt{\alpha} (W_{tr,i} - W_{a,i})$ $W_{tr,s} = \frac{I_{tr}}{d + h_F + t_c - y_{tr,i}}$

Fonte: Elaborada pelo autor

3.2.4. CONECTORES DE CISALHAMENTO

A partir da expressão de cálculo do grau de interação α , calcula-se o número de conectores n necessários entre cada seção de momento nulo (apoio) e a seção de momento máximo, que é a seção central, uma vez que a carga sobre as vigas é uniformemente distribuída. Este valor é obtido pela equação abaixo:

$$n = \alpha \cdot \frac{F_{hd}}{Q_{Rd}}$$

Sendo Q_{Rd} a força horizontal resistente de cálculo de um conector e F_{hd} o valor do esforço horizontal de cálculo.

3.2.5. DIMENSIONAMENTO DAS VIGAS À FORÇA CORTANTE

“A força cortante resistente de cálculo de vigas mistas de alma cheia deve ser determinada considerando-se apenas a resistência do perfil de aço”, conforme a norma ABNT NBR 8800:2008 (item O.3).

$$V_{Sd} \leq V_{Rd}$$

Sendo V_{Sd} a força cortante solicitante de cálculo e V_{Rd} a força cortante resistente de cálculo.

Onde, conforme o subitem 5.4.3.1.1 da norma ABNT NBR 8800:2008, “Em seções I, H e U fletidas em relação ao eixo central de inércia perpendicular à alma (eixo de maior momento inércia), a força cortante resistente de cálculo, V_{Rd} , é dada por”:

$$- \text{para } \lambda \leq \lambda_p: V_{Rd} = \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

$$- \text{para } \lambda_p < \lambda \leq \lambda_r: V_{Rd} = \frac{\lambda_p}{\lambda} \frac{V_{pl}}{\gamma_{a1}}$$

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

Tendo-se em evidência que, neste contexto:

$$\lambda = \frac{h}{t_w}$$

$$\lambda_p = 1,10 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

$$\lambda_r = 1,37 \cdot \sqrt{\frac{k_v \cdot E}{f_y}}$$

Já o cálculo do elemento K_v , deve ser levando em consideração a existência ou a disposição de enrijecedores transversais, em função da relação entre a distância dos enrijecedores transversais e a altura da alma.

O cálculo da força correspondente à plastificação da alma por cisalhamento V_{pl} , é apresentado pelo o subitem 5.4.3.1.2 da norma ABNT NBR 8800:2008. A saber:

$$V_{pl} = 0,60 \cdot A_w \cdot f_y$$

Sendo a área efetiva de cisalhamento A_w calculada através da equação:

$$A_w = d \cdot t_w$$

3.2.6. ARMADURA DE COSTURA PARA EVITAR RUPTURA DA LAJE POR CISALHAMENTO

Este tópico não será abordado no presente estudo, uma vez que o mesmo não é necessário para o pré-dimensionamento da laje mista, nem dos perfis de aço das vigas principais e secundárias.

3.2.7. ESTADOS-LIMITES DE SERVIÇO

Em função dos estados-limites de serviço correspondentes à vibração excessiva do piso e à fissuração da laje por tendência de continuidade não serem essenciais para o pré-dimensionamento da laje mista, nem para os perfis metálicos utilizados nas vigas secundária e principal, os mesmos não farão parte do presente estudo, que se limitará ao estado-limite de serviço da flecha.

A flecha admissível δ_{adm} é definida em função do vão teórico L_e e as características estruturais da viga, a saber:

Vigas mistas de cobertura	= $L_e / 250$
Vigas mistas de piso	= $L_e / 350$
Se a viga suporta pilares	= $L_e / 500$
Viga com parede solidarizada sob ou sobre a viga	< 15mm

$$\delta_{m\acute{a}x} \leq \delta_{adm}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \delta_{p,pa} + \delta_{p,ld} + \delta_{v,cd} + \delta_{v,ld} - \delta_{p,te} - \delta_c$$

$\delta_{p,pa}$: flecha do perfil de aço (ações permanentes antes da cura do concreto);

$\delta_{p,ld}$: flecha da seção mista (ações permanentes após a cura do concreto);

$\delta_{v,cd}$: flecha causada por ações variáveis de curta duração;

$\delta_{v,ld}$: flecha causada por ações variáveis de longa duração;

$\delta_{p,te}$: flecha provocada por ação no perfil de aço isolado que é eliminada após a cura do concreto; e

δ_c : contraflecha.

3.2.8. DISPOSIÇÕES CONSTRUTIVAS COMPLEMENTARES PARA AS LAJES DE CONCRETO COM FÔRMA DE AÇO INCORPORADA

Algumas disposições construtivas devem ser consideradas e aplicadas, pois servem como parâmetros de contorno que permitem o uso da equação para o cálculo da largura transformada b_{tr} e por consequência a obtenção dos módulos resistentes elásticos da seção mista homogeneizada. A aplicação de tais parâmetros impede a ocorrência de outros tipos de colapso não contemplados por esta equação, como o esmagamento do concreto na base das nervuras ou a ruína por flexão da faixa de concreto acima do topo da fôrma quando as nervuras estiverem dispostas perpendicularmente ao perfil de aço, onde:

$$b_{tr} = \frac{b}{\alpha_E}, \text{ lembrando que:}$$

α_E é a razão entre os módulos de elasticidade E_a do aço e E_c do concreto;

b é a largura efetiva do concreto.

Algumas disposições construtivas são apresentadas a seguir:

- Altura das nervuras da fôrma de aço h_F deve ser menor ou igual a 75mm;
- Largura média das nervuras de aço b_F deve ser maior ou igual a 50mm;
- Altura de concreto acima do topo da fôrma de aço t_c deve ser maior ou igual a 50mm;
- Projeção dos conectores acima do topo da fôrma deve ser maior ou igual a 40mm; e

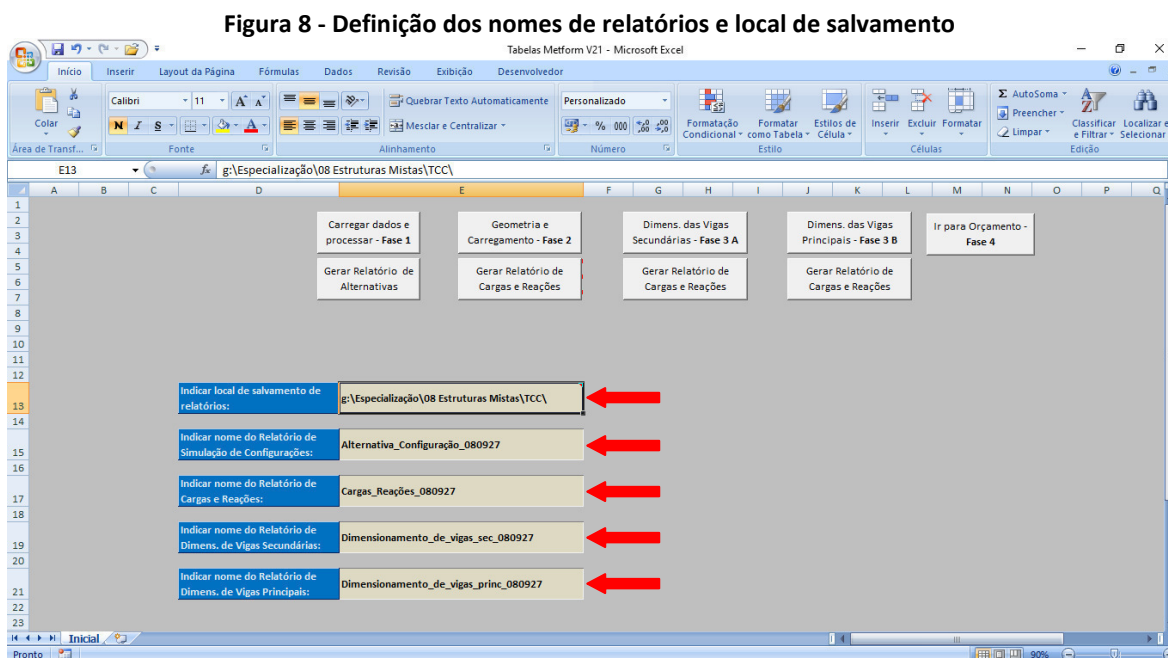
- As fôrmas de aço devem ser ancoradas no perfil com intervalos inferiores a 450mm, utilizando-se de pinos com cabeça e soldas de bujão.

Caso algum destes parâmetros não seja atendido, o processamento permite a adequação através de ajustes executados em revisão da fase 2 indicada no item 4.2.1 deste trabalho.

Também existe a possibilidade de nervuras paralelas ao perfil de aço. No entanto, tal configuração só ocorre no caso em estudo em vigas principais. Neste caso devem ser observadas as condições referentes à exigência de ligação da fôrma com o perfil e o valor mínimo para a largura média b_F da nervura.

4. PROCESSAMENTO

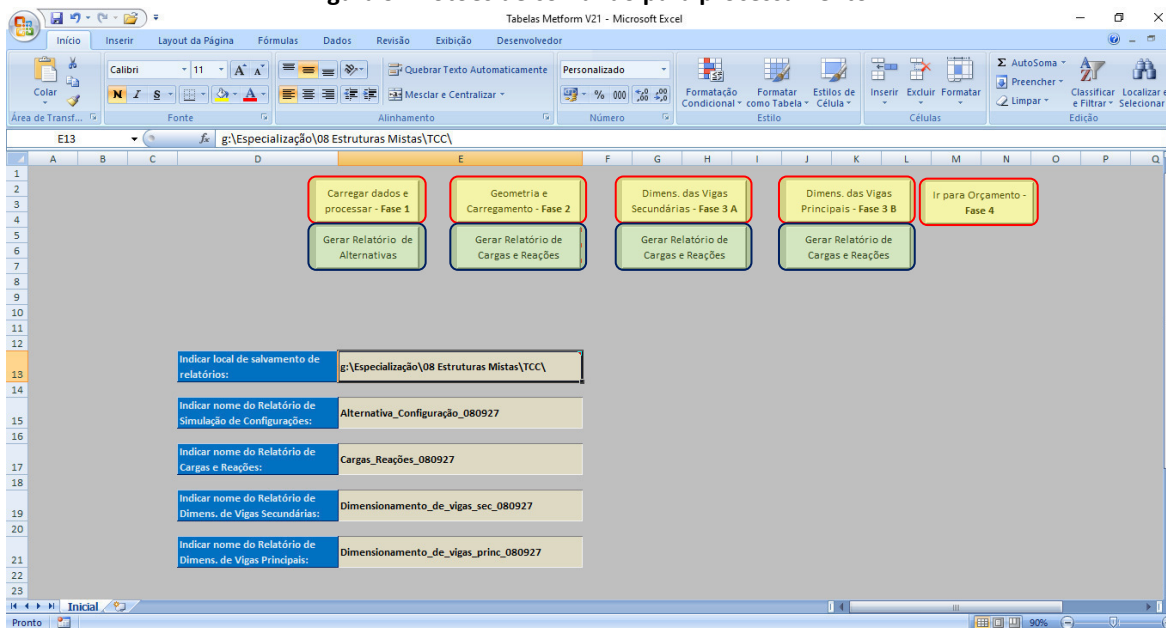
A pasta “Inicial” da planilha eletrônica corresponde à interface de início do processamento. Nesta, devem ser indicados, **antes da execução da rotina computacional**, os nomes dos relatórios de “Simulação de Configurações”, de “Cargas e Reações”, de “Dimens. de Vigas Secundárias” e de “Dimens. de Vigas Principais” e o local (pasta) de salvamento destes relatórios (Figura 8).



Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Na sequência, deve-se iniciar o processamento seguindo a ordem das fases indicadas nos botões de comando. Para as três primeiras fases, é possível, após a execução da etapa, mesmo após o fechamento da janela de diálogo correspondente, gerar o relatório referente à etapa. Já para a quarta e última fase, o relatório correspondente só poderá ser gerado com a exibição da sua respectiva pasta (Figura 9).

Figura 9 - Botões de comando para processamento



Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

4.1. ROTINA COMPUTACIONAL PARA DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS GEOMÉTRICOS DA LAJE

PRIMEIRA FASE DE PROCESSAMENTO

Como a telhas-fôrma da METFORM apresentam a possibilidade de combinação das suas características geométricas de espessura e altura, e que as tabelas METFORM apresentam a possibilidade de execução de lajes sem escoramento com vãos que variam de 1.800 a 3.200mm, para fôrmas com altura de 50mm (MF50), e 2.000 a 4.000mm, para fôrmas com altura de 75mm (MF75), faz-se necessário definir um procedimento padronizado que permita a escolha da configuração mais eficiente.

Para a execução destes cálculos é necessária a inserção de dados básicos, como a “Resistência à compressão do concreto” e se “A laje é de forro?”, o carregamento correspondente à “Sobrecarga”, ao “Peso próprio do revestimento

de piso”, ao “Forro falso” e às “Divisórias móveis” e as “Dimensão horizontal (H)” e “Dimensão vertical (V)” correspondentes à geometria da laje (Figura 10).

Figura 10 - Entrada de dados da 1ª etapa

The screenshot shows a software window titled "Inserir Dados Iniciais" with the following fields and values:

- Resistência à compressão do concreto: 25 MPa
- Sobrecarga característica: 5 kN/m²
- Peso próprio do revestimento do piso: 1,35 kN/m²
- Forro falso: 0 kN/m²
- Divisórias móveis: 0 kN/m²
- A laje é somente de forro?
- Dimensão horizontal (H): 7500 mm
- Dimensão vertical (V): 7500 mm

At the bottom, there are two buttons: "Processar alternativas" and "Fechar Janela". To the right, a diagram of a slab labeled "Piso" shows a rectangular shape with dimensions H and V indicated by arrows.

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

O processamento foi dividido em duas fases.

Na primeira, é calculado o número mínimo de vigas secundárias, transversais ao sentido longitudinal das nervuras. Se o vão total (VT) for inferior ao mínimo tabelado, o número mínimo de vãos será considerado igual a zero (sem vigas secundárias). Doutra forma, dividi-se o vão total (VT) pelo maior vão máximo sem escoramento (VMsE) tabelado (3.200mm para fôrmas MF50 e 4.000mm para as MF75) e subtraímos uma unidade. O cálculo agora descrito nos permite obter o número mínimo de vigas secundárias e, por conseguinte, o vão máximo a ser considerado inicialmente.

Na sequência, aplica-se um filtro, através de fórmulas condicionais, às tabelas da METFORM, pelos quais, os valores tabelados das cargas sobrepostas máximas tabelada (QSMt) em vãos sem escoramento que forem superiores à carga sobreposta característica (QSk) são desconsiderados. Executa-se uma rotina de pesquisa, a partir do vão máximo sem escoramento (VMsE) tabelado e espessura mínima de laje (Eml), buscando a carga sobreposta máxima tabelada (QSMt) superior à carga sobreposta característica (QSk) e os correspondentes Altura Total de Laje (HTI) e Vãos Máximos sem escoramento (VMsE) tabelados.

Pela divisão do vão total (VT) pelo Vão Máximo sem escoramento (VMsE) (tabelado), calculamos o número mínimo de vãos (Nvm), considerando o resultado após arredondamento para cima. Em seguida, ao dividirmos o Vão total (VT) por este número mínimo de vãos (Nvm), obtemos o Vão Máximo Calculado (VMc). Verifica-se se o Vão Máximo Calculado (VMc) é inferior ao Vão Máximo sem escoramento (VMsE) e, se confirmado, o resultado é considerado compatível. Este procedimento se repete para cada espessura x altura de fôrma e considera a possibilidade de orientação das fôrmas em dois sentidos (horizontal e vertical). O que nos leva à possibilidade de doze configurações possíveis.

Na segunda fase, identifica-se o Vão Máximo admissível sem escoramento (VMasE) tabelado imediatamente superior ao Vão Máximo Calculado (VMc). É feita então a busca da Carga sobreposta máxima de referência (QSMtr) tabelada superior à carga sobreposta característica (QSk) a partir do Vão Máximo admissível sem escoramento (VMasE) e espessura mínima de laje (Eml), obtido nesta fase. Identificada a Carga sobreposta máxima de referência (QSMtr), obtêm-se o Vão Máximo de referência sem escoramento (VMrsE), a Altura Total da Laje (HTI) e a Espessura da Fôrma (Ef) correspondentes e calcula-se o número de vigas secundárias (em função do número de vãos = $VT / VMrsE$), o que nos permite definir os parâmetros básicos de cada uma das doze configurações identificadas.

Dentre as configurações obtidas, a indicação da mais eficiente parte dos seguintes parâmetros, por ordem e prioridade:

- Menor espessura de fôrma;
- Menor comprimento total de vigas secundárias (vão das vigas multiplicado pela sua quantidade); e
- Menor peso próprio.

É apresentada uma janela exibindo os resultados do processamento (Figura 11), a partir dos parâmetros inicialmente indicados, tendo especial relevância a indicação da “Configuração sugerida”, ou configuração mais eficiente conforme acima descrito.

Figura 11 - Tabela de resultados da 1ª etapa

Espessura da forma (mm)	Direção das barras secundárias	Comprimento total de barras secundárias (mm)	Peso próprio da laje (kN/m ²)	Carga sobreposta máxima admitida (kN/m ²)	Altura total da laje (mm)	Vão sem escoramento			
						Simples (mm)	Duplo (mm)	Triplo (mm)	Balço (mm)
Forma MF50									
0,8	V	15000	3,02	6,42	150	---	---	---	---
0,95	V	15000	2,57	6,96	130	---	2800	2900	1000
1,25	V	15000	2,13	6,57	110	3050	3650	3650	1400
0,8	H	15000	3,02	6,42	150	---	---	---	---
0,95	H	15000	2,57	6,96	130	---	2800	2900	1000
1,25	H	15000	2,13	6,57	110	3050	3650	3650	1400
Forma MF75									
0,8	V	15000	2,5	6,78	140	---	3100	3200	1150
0,95	V	15000	2,52	6,94	140	2850	3500	3600	1350
1,25	V	7500	3,5	6,47	180	---	---	3800	1450
0,8	H	15000	2,5	6,78	140	---	3100	3200	1150
0,95	H	15000	2,52	6,94	140	2850	3500	3600	1350
1,25	H	7500	3,5	6,47	180	---	---	3800	1450
Gerar Relatório						Fechar Janela			
Configuração sugerida									
0,95	V	15000	2,57	6,96	130	---	2800	2900	1000

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

É possível gerar um relatório no formato PDF para armazenamento das informações processadas (Figura 12).

Figura 12 - Exemplo de relatório de configurações gerado

N. Ord.	Configuração sugerida	Carga sobreposta máxima (kN/m ²)	Altura total da laje (mm)	Espessura da forma (mm)	Vãos máximos sem escoramento com alt. da laje definida (mm)	Vãos máximos sem escoramento				Peso próprio (kN/m ²)	Nº de vãos, mínimos	Nº mínimo de vigas	Comp. Total de vigas secundárias (mm)
						Simples (mm)	Duplos (mm)	Triplos (mm)	Balço (mm)				
1	V-MF50-0,8	6,42	150	0,80	2500	1250	2300	2450	800	3,02	3	2	15000
2	V-MF50-0,95	6,96	130	0,95	2500	2050	2800	2900	1000	2,57	3	2	15000
3	V-MF50-1,25	6,57	110	1,25	2700	3050	3650	3650	1400	2,13	3	2	15000
4	V-MF75-0,8	6,78	140	0,80	2600	2200	3100	3200	1150	2,5	3	2	15000
5	V-MF75-0,95	6,94	140	0,95	2800	2850	3500	3600	1350	2,52	3	2	15000
6	V-MF75-1,25	6,47	180	1,25	3750	3050	3700	3800	1450	3,5	2	1	7500
7	H-MF50-0,8	6,42	150	0,80	2500	1250	2300	2450	800	3,02	3	2	15000
8	H-MF50-0,95	6,96	130	0,95	2500	2050	2800	2900	1000	2,57	3	2	15000
9	H-MF50-1,25	6,57	110	1,25	2700	3050	3650	3650	1400	2,13	3	2	15000
10	H-MF75-0,8	6,78	140	0,80	2600	2200	3100	3200	1150	2,5	3	2	15000
11	H-MF75-0,95	6,94	140	0,95	2800	2850	3500	3600	1350	2,52	3	2	15000
12	H-MF75-1,25	6,47	180	1,25	3750	3050	3700	3800	1450	3,5	2	1	7500

* A extensão do vão que esteja grafada em verde (mais claro), significa que o mesmo não será admitido sem escoramento.
 ** A célula do número de ordem da configuração sugerida será preenchida na cor verde (mais escura).

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

4.2. CÁLCULO DAS AÇÕES E REAÇÕES NA FASE DE CONSTRUÇÃO SEGUNDA FASE DE PROCESSAMENTO

Nesta etapa, são apresentados os resultados do processamento efetuado para se obter a configuração indicada como mais eficiente, nomeada como "Configuração sugerida" (Figura 13), conforme os critérios apresentados no subitem anterior. Além das dimensões da laje, são apresentadas as informações

obtidas nas tabelas METFORM correspondentes à “Configuração escolhida” (“Direção” – orientação das vigas secundárias, “Carga sobreposta máxima”, “Altura total da laje”, “Espessura da fôrma”, “Simples” – disposição da forma em vão simples; “Dupla” – disposição da forma em vão duplo; “Tripla” - disposição da forma em vão triplo; “L” – largura de influência da laje sobre a viga secundária), opção não necessariamente igual à “Configuração sugerida”.

Figura 13 - Entrada de dados da 2ª Etapa – configurações/carregamento

Carregar cargas e geometria

GEOMETRIA

Dimensão Horizontal: 7,5 m.

Dimensão Vertical: 7,5 m.

Configuração sugerida: MF50-V-0,95

Configuração escolhida: MF75-H-0,95

Direção: Horizontal

L: 2,5 m.

Carga sobreposta máxima: 6,94 kN/m².

Altura total da laje: 140 mm.

Espessura da fôrma: 0,95 mm.

Simples:

Duplos:

Tripos:

Peso próprio dos pilares: 0 kN/m²

CARREGAMENTOS (kN/m²)

Antes e após a cura do concreto	Antes e após a cura do concreto	Perfil de aço, conectores, elementos de ligação etc.	0,25	3
	Somente antes da cura do concreto	Laje de concreto	2,52	
	Somente após a cura do concreto	Fôrma da laje, incluindo elementos de suporte	0	0
		Revestimento do piso	1,35	1,35
Somente durante a construção	Somente durante a construção	Forro falso	0	
	Somente durante a construção	Divisórias móveis ou outro	0	
	Somente após a construção	Sobrecarga de construção	1	1
	Somente após a construção	Sobrecarga de utilização	5	5

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS.COMB. CONSTRUÇÃO

Permanente: 1,25

Sobrecarga: 1,3

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS.COMB. NORMAL

Permanente: 1,35

Sobrecarga: 1,5

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Observe-se que esta etapa de processamento permite alterar tanto a “Configuração escolhida” como a altura total da laje (Figura 14), conforme conveniência de projeto ou exigência de norma técnica.

Cabe ressaltar que, apesar dos recursos disponíveis, a ferramenta em tela não considera, especificamente, o efeito de incêndio no dimensionamento da estrutura, devendo o usuário atentar para a relevância da questão.

Figura 14 - Entrada de dados da 2ª Etapa - arbitrando altura da laje

Carregar cargas e geometria

GEOMETRIA

Dimensão Horizontal: 7,5 m.
 Dimensão Vertical: 7,5 m.
 Configuração sugerida: MF50-V-0,95
 Configuração escolhida: MF75-H-0,95
 Direção: Horizontal
 L: 2,5 m.
 Carga sobreposta máxima: 6,94 kN/m²
 Altura total da laje: 140 mm **Arbitrar altura**
 Espessura da fôrma: 0,95 mm.
 Simples: Admite vão sem escoramento
 Duplos: Admite vão sem escoramento
 Triplos: Admite vão sem escoramento

Direção: Vertical | Direção: Horizontal

Peso próprio dos pilares: 0 kN/m²

CARREGAMENTOS (kN/m²)

Antes e após a cura do concreto	Antes e após a cura do concreto	Perfil de aço, conectores, elementos de ligação etc.	0,25
	Somente antes da cura do concreto	Fôrma da laje, incluindo elementos de suporte	2,52
	Somente após a cura do concreto	Revestimento do piso	1,35
		Forro falso	0
Somente durante a construção	Somente durante a construção	Divisórias móveis ou outro	0
	Somente durante a construção	Sobrecarga de construção	1
	Somente após a construção	Sobrecarga de utilização	5

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS, COMB. CONSTRUÇÃO

Permanente: 1,25
 Sobrecarga: 1,3

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS, COMB. NORMAL

Permanente: 1,35
 Sobrecarga: 1,5

Fechar Janela

Apresentar reações

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

4.2.1. AÇÕES

Em função de já terem sido informados na etapa anterior, já são apresentados os carregamentos correspondentes ao “Revestimento de piso”, “Forro falso”, às “Divisórias móveis ou outro” e à “Sobrecarga característica”, além do peso próprio da “laje de concreto” (correspondente à “Configuração escolhida” e à “Altura total da laje”, arbitradas ou não).

Deve-se então atribuir as cargas correspondentes à estrutura de aço, à fôrma da laje – incluindo elementos de suporte, e às sobrecargas de construção e de utilização, e carga(s) distribuída(s) gerada(s) por pilar(es) (caso existam), além dos coeficientes de ponderação das cargas, nas combinações de construção e normal (Figura 15).

Os Coeficientes de ponderação das cargas em Combinação de Construção ou em Combinação Normal são preenchidos automaticamente, sendo definidos conforme as notas *c* e *d* da Tabela 1 do subitem 4.7.6.2.2 da norma ABNT NBR 8800:2008. A Tabela 2 apresenta de forma compilada as informações referentes a estes coeficientes.

Figura 15 - Declaração de carregamentos

Carregar cargas e geometria

GEOMETRIA

Dimensão Horizontal: 7,5 m.
 Dimensão Vertical: 7,5 m.
 Configuração sugerida: MF50-V-0,95
 Configuração escolhida: MF75-H-0,95
 Direção: Horizontal
 L: 2,5 m.
 Carga sobreposta máxima: 6,94 kN/m².
 Altura total da laje: 140 mm. **Arbitrar altura**
 Espessura da fôrma: 0,95 mm.
 Simples: Admite vão sem escoramento
 Duplos: Admite vão sem escoramento
 Triplos: Admite vão sem escoramento

Direção: Vertical Direção: Horizontal

Peso próprio dos pilares: 0 kN/m²

CARREGAMENTOS

Ações permanentes (pesos próprios)	Antes e após a cura do concreto		Perfil de aço, conectores, elementos de ligação etc. (kN/m²)	
	Somente antes da cura do concreto	Somente após a cura do concreto		
			0,25	2,77
			0,95	
			0	0
			1,35	1,35
			0	
			0	
Ações variáveis (sobrecargas)	Somente durante a construção		1	1
	Somente após a construção		5	5

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS.COMB. CONSTRUÇÃO

Permanente: 1,3
 Sobrecarga: 1,2

COEFICIENTES DE PONDERAÇÃO DAS CARGAS.COMB. NORMAL

Permanente: 1,4
 Sobrecarga: 1,4

Apresentar reações Fechar Janela

Fonte: Print screen Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Tabela 2 - Coeficientes de ponderação

Ações variáveis decorrentes do uso e ocupação	Combinação	Ações que aumentam o valor do efeito procurado	
		Permanentes indiretas (γ_g)	Variáveis (γ_q)
< 5,0kN/m²	Normal	1,40	1,40
	De construção	1,30	1,20
> 5,0kN/m²	Normal	1,35	1,50
	De construção	1,25	1,30

Fonte: Fakury et al. (p. 43)

4.2.2. REAÇÕES

A partir dos carregamentos atribuídos, são calculadas as reações, momento fletor e força cortante, conforme a fase, de construção ou normal, e o estado-limite aplicável, de serviço ou último.

Observe-se que, conforme apontado no subitem anterior, serão utilizados os coeficientes de ponderação da Tabela 2.

Neste contexto, considerando o número de vigas secundárias e seu vão, já definidos em fase anterior do processo de cálculo, e os carregamentos indicados, são calculados, tanto nas vigas secundárias como na viga principal (Figura 16):

Carga distribuída de cálculo no perfil de aço – viga secundária (fase de construção); carga distribuída de cálculo na viga mista – viga secundária (fase de utilização); a força cortante e o momento aplicados ao perfil de aço, considerando as cargas aplicadas na fase inicial (de construção); e a força cortante e o momento fletor aplicados à viga mista, considerando cargas aplicadas na fase final (de utilização).

Figura 16 - Reações sobre as vigas secundária e principal nas fases de construção e utilização

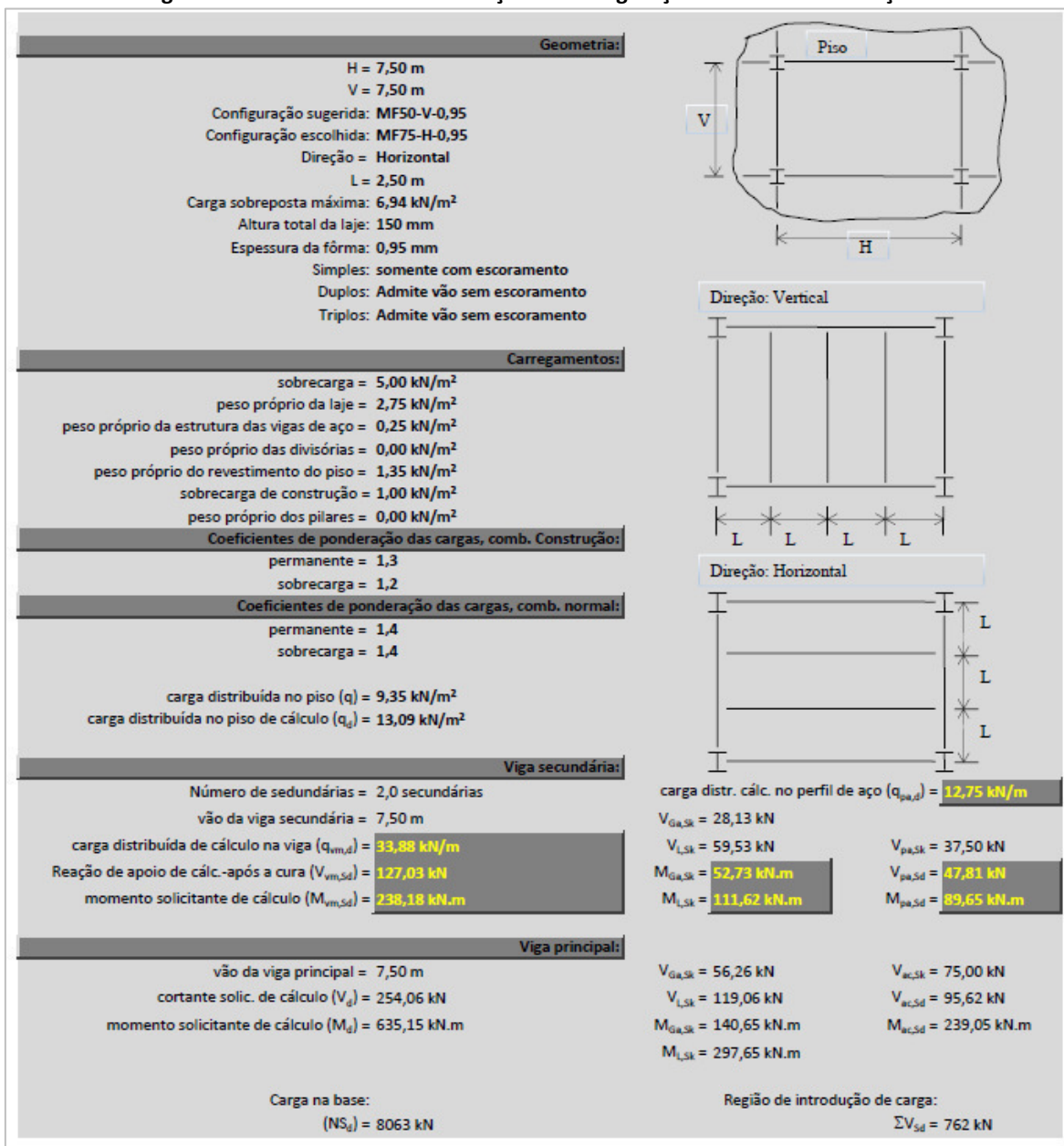
Carregamento e Reações ×

<u>VIGA SECUNDÁRIA</u>		<u>VIGA PRINCIPAL</u>	
Número de secundárias =	<input type="text" value="2"/>	vão da viga principal =	<input type="text" value="7,5"/> m
vão da viga secundária =	<input type="text" value="7,5"/> m		
FASE DE CONSTRUÇÃO (SOLICITANDO O PERFIL DE AÇO)			
carga distribuída na viga de cálculo (qpa,d) =	<input type="text" value="12"/> kN/m		
Vpa,Sk =	<input type="text" value="35,34"/> kN	Vpa,Sk =	<input type="text" value="70,68"/> kN
Vpa,Sd =	<input type="text" value="45,01"/> kN	Vpa,Sd =	<input type="text" value="90,02"/> kN
Mpa,Sd =	<input type="text" value="8439,3"/> kN.cm	Mpa,Sd =	<input type="text" value="22505"/> kN.cm
FASE DE UTILIZAÇÃO (SOLICITANDO A VIGA MISTA)			
carga distribuída na viga de cálculo (qvm,d) =	<input type="text" value="33,0987"/> kN/m		
reação de apoio de cálculo (cargas após a cura) (Vvm,Sd) =	<input type="text" value="124,12"/> kN	reação de apoio, cortante solicitante de cálculo (Vd) =	<input type="text" value="248,24"/> kN
momento solicitante de cálculo (Mvm,Sd) =	<input type="text" value="23272,6"/> kN.cm	momento solicitante de cálculo (Md) =	<input type="text" value="62060"/> kN.cm
VGa,Sk =	<input type="text" value="25,97"/> kN	VGa,Sk =	<input type="text" value="51,94"/> kN
VL,Sk =	<input type="text" value="59,53"/> kN	VL,Sk =	<input type="text" value="119,06"/> kN
MGa,Sk =	<input type="text" value="4869,1"/> kN.cm	MGa,Sk =	<input type="text" value="12985"/> kN.cm
ML,Sk =	<input type="text" value="11162,1"/> kN.cm	ML,Sk =	<input type="text" value="29765"/> kN.cm
Carga na base:		Região de introdução de carga:	
NSd =	<input type="text" value="7888,2"/> kN	$\sum V_{Sd}$ =	<input type="text" value="744,72"/> kN
			<input type="button" value="Gerar Relatório"/>
			<input type="button" value="Fechar Janela"/>

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Como na etapa anterior, é possível gerar um relatório no formato PDF para armazenamento das informações processadas (Figura 17).

Figura 17 - Relatório de caracterização da configuração escolhida e de reações



Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

4.3. ESCOLHA DO PERFIL MAIS EFICIENTE TERCEIRA FASE DE PROCESSAMENTO

4.3.1. VERIFICAÇÃO DE ESTADOS LIMITES PARA HABILITAÇÃO DE PERFIS PARA AS VIGAS SECUNDÁRIAS E DEFINIÇÃO DO PERFIL ESCOLHIDO

Tendo sido já definidas as características da laje mista a ser utilizada (características da telha-fôrma e espessura do concreto), é definido o dimensionamento do perfil das vigas secundárias a ser utilizado.

Uma tabela dinâmica gerada através de uma tabela de dados, esta baseada na consolidação de testes para verificação de atendimento aos parâmetros dos estados-limites últimos e de serviço, apresenta os perfis metálicos que atendem a estes requisitos, indicada como “Lista de perfis compatíveis” (Figura 18).

Figura 18 - Escolha de perfil compatível para vigas secundárias - lista de perfis

The screenshot shows a software interface for selecting compatible steel profiles for secondary beams. The interface is divided into several sections:

- Configuração da laje mista:** MF75-0,95-150 (Altura forma / espessura forma / altura total laje). Altura da forma (hf) = 7,5 cm. Altura livre de concreto (tc) = 7,5 cm. Aço do perfil da viga = AS72 / laminado / 50. Perfil da viga = W 310 x 28,3.
- Largura efetiva da laje:** Lado 1 = viga adjacente (Distância entre a viga e a viga adjacente no lado 1 = 2,5 m). Lado 2 = viga adjacente (Distância entre a viga e a viga adjacente no lado 2 = 2,5 m). Largura efetiva da laje = 187,5 cm. btr,cd = 22,6 cm (btr curta duração). αe = 8,8. btr,ld = 7,5 cm (btr curta duração).
- Características físicas do aço e do concreto e coeficientes:** αi = 0,8625. αE = 1. Ec = 2915 kN/cm². γc = 1,4. fck = 2,8 kN/cm². fcd = 1,79 kN/cm². Ea = 20000 kN/cm². γa1 = 1,1. fy = 34,8 kN/cm². fyd = 31,36 kN/cm².
- Característica geométrica do perfil:** d = 309 cm. bf = 102 cm. tf = 8,9 cm. tw = 6 cm. h = 271,2 cm. Aa = 36,5 cm². Ix = 5500 cm⁴. Wx = 396 cm³. Zx = 412 cm³. d1 = 15,95 cm. Iy = 198 cm⁴. ry = 2,08 cm. J = 8,14 cm⁴. Cw = 35441 cm⁶.
- Conector:** Acs = 2,84 kN/cm². fucs = 41,5 kN/cm². γcs = 1,25.
- Lista de perfis compatíveis:** W 610 x 174,0, W 610 x 155,0, W 610 x 140,0, W 610 x 125,0, W 610 x 115,0, W 610 x 101,0, W 530 x 92,0, W 530 x 85,0, W 530 x 82,0, W 530 x 74,0, W 530 x 72,0, W 530 x 68,0, W 530 x 60,0, W 460 x 109,0, W 460 x 101,0, W 460 x 97,0, W 460 x 89,0, W 460 x 82,0, W 460 x 74,0, W 460 x 68,0, W 460 x 60,0, W 460 x 52,0, W 460 x 106,0, W 410 x 85,0, W 410 x 75,0, W 410 x 67,0, W 410 x 60,0, W 410 x 53,0, W 410 x 46,1, W 410 x 38,8, W 360 x 79,0, W 360 x 72,0, W 360 x 64,0, W 360 x 57,8, W 360 x 51,0, W 360 x 44,0, W 360 x 39,0, W 360 x 32,9, W 310 x 52,0, W 310 x 44,5, W 310 x 38,7, W 310 x 32,7, W 250 x 28,3, W 250 x 44,8, W 250 x 38,5, W 250 x 32,7, W 900 x 180, W 900 x 162, W 900 x 177, W 900 x 159, W 850 x 174, W 850 x 155, W 800 x 143, W 800 x 129.

Fonte: Print screen Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Esta fase permite a parametrização do tipo de “Aço do perfil da viga”, o “Perfil da viga”, a “Largura efetiva da laje (esta através da caracterização das vigas adjacentes), o diâmetro do conector “d_{cs}” a ser empregado, o “Tipo de brita” utilizado no concreto. Também são definidos os coeficientes do efeito de grupo “R_g” e de posição “R_p”, associados à disposição dos conectores e a posição relativa entre a direção do eixo longitudinal do perfil da viga e a direção das nervuras da telha-fôrma, além do fator de redução Ψ_2 , associado ao local/tipo de elemento/detalhamento.

Para definição da flecha admissível, define-se o “Tipo de laje” (“Cobertura”/”Piso”/”Suporta pilares”). Também deve ser definido se “Há parede sobre ou solidarizada sob a viga” e se “A viga é escorada”.

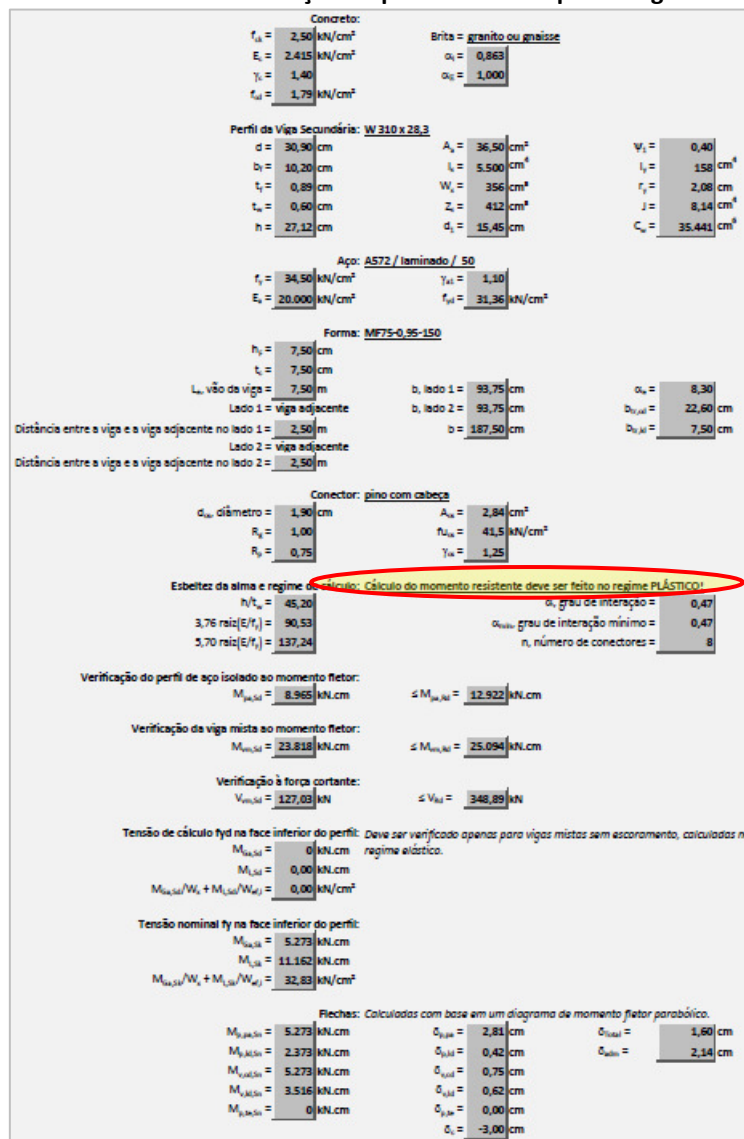
Para o perfil escolhido é apresentado o cálculo do grau de interação mínimo α_{\min} , devendo ser indicado o grau de interação a ser aplicado $\alpha_{gr\ int}$. Os parâmetros “ L_b ” (comprimento destravado), “ C_b ” (fator de modificação para o diagrama de momento fletor não-uniforme), “ f_{ucs} ” (resistência à ruptura do aço dos conectores) e “ γ_{cs} ” (coeficiente de ponderação da resistência do conector) são apresentados com valores padrão, 0, 1, 41,5kN/cm² e 1,25, respectivamente. No entanto, é possível a indicação de outros valores para estes parâmetros.

Finalmente, caso necessário, deve ser definida a contra flecha δ_c , para redução de δ_{\max} e atendimento da exigência de $\delta_{\max} \leq \delta_{adm}$, lembrando que ela, δ_c , não pode ser superior ao somatório das flechas causadas pelas ações permanentes, restrição que o próprio processamento impõe.

Na verificação de estados limites e conseqüente escolha dos perfis das vigas, deve-se atentar para a economicidade, dando preferência sempre que viável, ao uso de perfis laminados.

Pode ser gerado um relatório desta etapa, na qual são apresentadas as características físicas e geométricas do perfil de aço das vigas secundárias e dos conectores, as características físicas do concreto utilizado, as características geométricas da telha forma escolhida, os resultados dos esforços a que a estrutura será submetida e das verificações de atendimento aos parâmetros dos estados-limites aplicados (Figura 19).

Figura 19 - Relatório de verificação de perfil escolhido para a viga secundária



Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

4.3.2. VERIFICAÇÃO DE ESTADOS LIMITES PARA HABILITAÇÃO DE PERFIS PARA AS VIGAS PRINCIPAIS E DEFINIÇÃO DO PERFIL ESCOLHIDO

Em função das alternativas escolhidas para as vigas secundárias, na sequência deve ser feita a escolha do perfil a ser utilizado para a viga principal e executado seu processamento. Deve-se observar que as características dos conectores, o fator de redução Ψ_2 e o tipo de laje não estarão com campos habilitados para alteração, uma vez que estes fatores já foram definidos quando do processamento do perfil para as vigas secundárias (Figura 20).

Figura 20 - Escolha de perfil compatível para vigas principais - lista de perfis

Fase 3VP

Configuração da laje mista: MF75-0,95-150 (Altura forma / espessura forma / altura total laje)

Altura da forma (hf) = 7,5 cm

Altura livre de concreto (tc) = 7,5 cm

Aço do perfil da viga: USI CIVIL 350

Perfil da viga: VS 500 x 61

Largura efetiva da laje

Lado 1: viga adjacente. Distância entre a viga e a viga adjacente no lado 1 = 7,5 m

Lado 2: viga adjacente. Distância entre a viga e a viga adjacente no lado 2 = 7,5 m

Largura efetiva da laje = 187,5 cm

$b_{tr,cd}$ = 22,6 cm (btr curta duração)

α_e = 8,3

$b_{tr,ld}$ = 7,5 cm (btr curta duração)

Tipo de conector: Pino com cabeça

dc = 19 mm (diâmetro)

Tipo de brita: granito ou gnaiss

Rg = 1

Um conector sold. em nervura de fôrma perpendicular ao perfil.

Rp = 1

Conectores sold. no perfil e, no caso de nervuras paralelas a esse perfil, pelo menos metade da largura da mesa em contato direto com o concreto.

Definição do Fator de redução Ψ_2

Locais em que há pesos ou equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou elevadas concentrações de pessoas, como na maioria das edificações comerciais de escritórios e de acesso público.

Ψ_2 = 0,4

Esbelteza da alma e regime de cálculo: Cálculo do momento resistente deve ser feito no regime PLÁSTICO!

Verificação do perfil de aço isolado ao momento fletor: **Atende!**

Verificação da viga mista ao momento fletor: **Atende!**

Verificação à força cortante: **Atende!**

Verificação tensão de cálculo f_{yd} na face inferior do perfil: **Esta verificação não se aplica**

Verificação da tensão nominal f_y na face inferior do perfil no cálculo da flecha: **Atende!**

Verificação da flecha máxima admissível: **Atende!**

Gerar Relatório

Tipo de Laje
A laje é de piso.

Há parede sobre ou solidarizada sob a viga.

A viga é escorada.

$\alpha_{gr\ int}$ = 0,48

α_{\min} = 0,48

Lb = 0 m

Cb = 1

$\delta_{p,pa}$ = 1,22 cm

$\delta_{p,ld}$ = 0,29 cm

$\delta_{v,cd}$ = 0,5 cm

$\delta_{v,ld}$ = 0,44 cm

$\delta_{p,te}$ = 0 cm

δ_c = -1 cm

δ_{\max} = 1,45 cm

δ_{adm} = 2,14 cm

Características físicas do aço e do concreto e coeficientes

α_{st} = 0,8525

α_{E} = 1

E_c = 24115 kN/cm²

γ_c = 1,4

f_{ck} = 23,8 kN/cm²

f_{cd} = 1,79 kN/cm²

E_a = 20000 kN/cm²

γ_{a1} = 1,1

f_y = 35 kN/cm²

f_{yd} = 31,82 kN/cm²

Conector

A_{cs} = 2,84 kN/cm²

f_{ucs} = 41,5 kN/cm²

γ_{cs} = 1,25

Característica geométrica do perfil

d = 500 cm

bf = 250 cm

tf = 9,5 cm

tw = 6,3 cm

h = 481 cm

Aa = 77,8 cm²

Ix = 34416 cm⁴

Wx = 1377 cm³

Zx = 1529 cm³

d1 = 25 cm

Iy = 2475 cm⁴

ry = 5,64 cm

J = 19,4 cm⁴

Cw = 1488026 cm⁶

Lista de perfis compatíveis

VS 1000 x 201

VS 1000 x 217

VS 1100 x 219

VS 1100 x 235

VS 1200 x 262

VS 500 x 61

VS 550 x 64

VS 600 x 111

VS 600 x 95

VS 650 x 114

VS 650 x 98

VS 700 x 122

VS 700 x 137

VS 750 x 125

VS 750 x 140

VS 800 x 129

VS 800 x 143

VS 850 x 155

VS 850 x 174

VS 900 x 159

VS 900 x 177

VS 950 x 162

VS 950 x 180

W 410 x 75,0

W 410 x 85,0

W 460 x 105,0

W 460 x 68,0

W 460 x 74,0

W 460 x 82,0

W 460 x 89,0

W 460 x 97,0

W 530 x 101,0

W 530 x 109,0

W 530 x 66,0

W 530 x 72,0

W 530 x 74,0

W 530 x 82,0

W 530 x 85,0

W 530 x 92,0

W 610 x 101,0

W 610 x 113,0

W 610 x 125,0

W 610 x 140,0

W 610 x 155,0

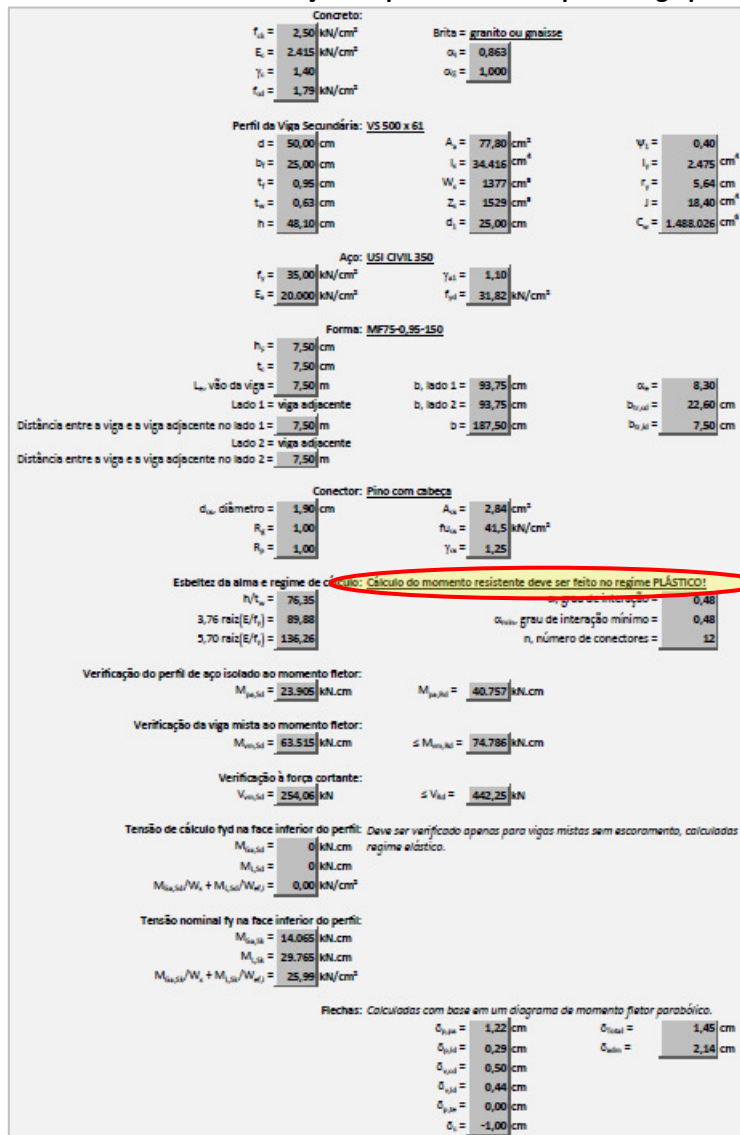
W 610 x 174,0

Fechar

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Os demais campos e o respectivo relatório solicitam os mesmos tipos de informação e apresentam os mesmos dados, à exceção dos momentos geradores de cada tipo de flecha (Figura 21).

Figura 21 - Relatório de verificação de perfil escolhido para a viga principal



Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pr\~{e}-dimensionamento de lajes mistas de a\~{c}o e concreto

4.4. ORÇAMENTO EXPEDITO

QUARTA FASE DE PROCESSAMENTO

4.4.1. A FORMAÇÃO DO PREÇO

Este item corresponde ao objetivo de refer\~{e}ncia para o presente pr\~{e}-dimensionamento, uma vez que permite, de forma r\~{a}pida, a emiss\~{a}o de orçamentos para cada uma das diversas configura\~{c}\~{o}es de estruturas que atendem as exig\~{e}ncias das normas t\~{e}cnicas.

A composi\~{c}\~{a}o do pre\~{c}o \~{e} baseada nos elementos de maior signific\~{a}ncia no custo da estrutura, sendo os pre\~{c}os unit\~{a}rios obtidos atrav\~{e}s de tabelas de refer\~{e}ncia ou pesquisas de mercado, a saber:

- Custo do perfil telha-fôrma por (R\$ / m²) – PESQUISA DE MERCADO;
- Custo do concreto em função do fck (R\$ / m³) – SINAPI;
- Custo de execução da estrutura metálica (R\$ / kg) – PESQUISA DE MERCADO; e ainda
- Custo de malha de aço (R\$ / kg) - SINAPI

4.4.2. CÁLCULO DO ORÇAMENTO EXPEDITO DA CONFIGURAÇÃO ESCOLHIDA

Os preços unitários referidos no item anterior devem ser lançados conforme indicado na Figura 22.

Figura 22 - Entrada de dados dos preços unitários e cálculo do orçamento expedito

RELATÓRIO DE ORÇAMENTO EXPEDITO

Retornar ao Início Imprimir Orçamento

Preço Un. (R\$/m ²)	MF50-0,8	MF50-0,95	MF50-1,25	MF75-0,8	MF75-0,95	MF75-1,25
	72,36	80,96	104,54	83,29	93,18	120,31

Preço Un. do concreto (R\$/m²)

f _{ck} do concreto	Preço Un. do concreto (R\$/m ²)	SINAPI abr/2021
20,0	322,84	00001524
25,0	337,50	00001527
30,0	347,88	00001525
35,0	358,27	00011145
40,0	368,65	00034479
45,0	385,20	00034481
50,0	411,56	00034483

Consumo de concreto (m³/m²)

Altura total da laje	Consumo de concreto (m ³ /m ²)
100	0,075
110	0,085
120	0,095
130	0,105
140	0,115
150	0,125
160	0,135
170	0,145

Altura total da laje	Consumo de concreto (m ³ /m ²)
130	0,0925
140	0,1025
150	0,1125
160	0,1225
170	0,1325
180	0,1425
190	0,1525
200	0,1625

Preço de execução de estruturas por faixa de peso do perfil

Faixas	(kg/m)	(kg/m)	(R\$)
1	13	41	15,00
2	41	69	14,50
3	69	96	14,00
4	96	124	13,50
5	124	151	13,00
6	151	179	12,50
7	179	206	12,00
8	206	234	11,50
9	234	262,4	11,00

Preço de execução de estruturas por perfil

Denominação	Diâmetro - espaçamento (mm x mm - mm x mm)	(R\$)	SINAPI abr/21
Q-75	φ 3,8 x φ 3,8 - 150 x 150	10,00	00001524
Q-92	φ 4,2 x φ 4,2 - 150 x 150	22,20	00021141
Q-113	φ 3,8 x φ 3,8 - 100 x 100	25,78	00039507
Q-138	φ 4,2 x φ 4,2 - 100 x 100	33,09	00007155

Resumo do Orçamento:

Perfil de forma escolhido	MF75-0,95
Preço Un. do perfil escolhido	93,18 R\$/m ²
Área total	56,3 m ²
Custo da forma	5.241,38 R\$
Malha escolhida	Q-75
Preço Un. da armadura	10,00 R\$/m ²
Custo da armadura	562,50 R\$
Preço Un. Concreto	337,50 R\$/m ²
Volume total de concreto	6,33 m ³
Custo do concreto	2.135,74 R\$
Perfil de viga sec. escolhido	W 310 x 28,3
Preço linear do perfil	424,50 R\$/m
Comprimento total	15,0 m
Custo do perfil	6.367,50 R\$
Perfil de viga princ. escolhido	VS 500 x 61
Preço linear do perfil	885,95 R\$/m
Comprimento total	15,0 m
Custo do perfil	13.289,25 R\$
Custo base da configuração	27.596,37 R\$

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

Sendo:

- A. Custo do perfil telha-fôrma;
- B. Custo do concreto em função do fck;
- C. Custo de execução da estrutura metálica – perfis metálicos das vigas; e
- D. Custo de malha de aço.

Em função da configuração escolhida na simulação corrente, são fornecidos o custo da forma, da malha de aço, do concreto, das vigas secundárias e principais e, por consequência e de forma expedita, da estrutura simulada.

Para armazenar estes dados/resultados, pode ser gerado o relatório correspondente em um arquivo de extensão “pdf”, conforme apresentado na Figura 23.

Figura 23- Relatório do orçamento expedito da simulação

RELATÓRIO DE ORÇAMENTO EXPEDITO						
Preço Un. (R\$/m ²)	MF50-0.8	MF50-0.95	MF50-1.25	MF75-0.8	MF75-0.95	MF75-1.25
	72,36	80,96	104,54	83,29	93,18	120,31
f_{ck} do concreto	Preço Un. do concreto (R\$/m³)	SINAPI abr/2021	MF-50		MF-75	
20,0	322,84	00001524	Consumo de		Consumo de	
25,0	337,50	00001527	Altura total da laje		Altura total da laje	
30,0	347,88	00001525	concreto (m³/m²)		concreto (m³/m²)	
35,0	358,27	00011145	100	0,075	130	0,0925
40,0	368,65	00034479	110	0,085	140	0,1025
45,0	385,20	00034481	120	0,095	150	0,1125
50,0	411,56	00034483	130	0,105	160	0,1225
			140	0,115	170	0,1325
			150	0,125	180	0,1425
			160	0,135	190	0,1525
			170	0,145	200	0,1625
Perfil de forma escolhido	MF75-0.95		Preço de execução de estruturas por faixa de peso do perfil			
Preço Un. do perfil escolhido	93,18 R\$/m ²		Faixas	(kg/m)	(kg/m)	(R\$)
Área total	36,3 m ²		1	13	41	15,00
Custo da forma	5.241,38 R\$		2	41	69	14,50
Malha escolhida	0.75		3	69	96	14,00
Preço Un. da armadura	10,00 R\$/m ²		4	96	124	13,50
Custo da armadura	562,90 R\$		5	124	151	13,00
Preço Un. Concreto	337,50	R\$/m³	6	151	179	12,50
Volume total de concreto	6,33 m ³		7	179	206	12,00
Custo do concreto	2.145,74 R\$		8	206	234	11,50
Perfil de viga sec. escolhido	W 310 x 28,3		9	234	262,4	11,00
Preço linear do perfil	424,50 R\$/m		Denominação	Diâmetro - espaçamento		(R\$)
Comprimento total	15,0 m		Q-75	φ 3,8 x φ 3,8 - 150 x 150		10,00
Custo do perfil	6.367,50 R\$		Q-92	φ 4,2 x φ 4,2 - 150 x 150		22,20
Perfil de viga princ. escolhido	VS 500 x 61		Q-113	φ 3,8 x φ 3,8 - 100 x 100		25,78
Preço linear do perfil	885,95 R\$/m		Q-138	φ 4,2 x φ 4,2 - 100 x 100		33,09
Comprimento total	15,0 m					
Custo do perfil	13.289,25 R\$					
Custo base da configuração	27.596,37	R\$				
						SINAPI abr/21
						00001524
						00021141
						00039507
						00007155

Fonte: *Print screen* Ferramenta computacional para pré-dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto

5. CONCLUSÕES

A utilização de ferramenta computacional para a verificação das configurações viáveis de lajes de concreto tipo steel deck da METFORM, dadas as características geométricas do projeto, torna possível não só a agilização do processo de escolha da alternativa mais vantajosa financeiramente, mas também a retificação ou adequação desta alternativa a quesitos técnicos exigidos em norma, ou até à recusa da mesma.

Deve-se ter em consideração que o processo apresentado não corresponde ao dimensionamento da estrutura, mas sim a um pré-

dimensionamento, ou um dimensionamento simplificado de parte dela (laje e vigas), que oferece uma estimativa de preço, ou orçamento expedito, para que se obtenha uma “ordem de grandeza” do valor da obra.

Ressalte-se que a emissão de relatórios para cada uma das fases se apresenta como um instrumento de otimização deste processo, podendo ser escolhida a opção mais interessante em cada etapa a partir da análise de várias alternativas viáveis, sendo esta seleção a condição de contorno para a etapa seguinte.

REFERÊNCIAS

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

METFORM. **Telha-fôrma METFORM**: Manual técnico de Especificações para Projeto. Betim, 2019. Disponível em: <<http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2019/11/Cat%C3%A1logo-Steel-Deck-2019.pdf>>. Acesso em: 17 ago. 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios**. Rio de Janeiro, 2008, 247 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16421: Telha-fôrma de aço colaborante para laje mista de aço e concreto - Requisitos e ensaios**. Rio de Janeiro, 2015, 10 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14762: Dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio**. Rio de Janeiro, 2010, 87 p.

ANEXOS

ANEXO A – Tabelas de Cargas e Vãos Máximos para Telhas-Fôrma METFORM

MF50

	Altura da Laje (mm)	Espessura Telha-fôrma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)															
			Simples (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
									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	
Laje de Forro	100	0,80	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	3,18	2,99	2,63	2,32	2,03	1,78	1,54
		0,95	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
		1,25	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	4,20	3,77	3,38
Laje de Piso	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	3,96	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
Laje de Piso	120	0,80	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	1,98
		0,95	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
		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
Laje de Piso	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	4,92	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
Laje de Piso	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	5,26
Laje de Piso	150	0,80	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
		0,95	1.700	2.650	2.750	950	3,04	17,98	19,53	17,13	15,08	13,33	11,80	10,48	9,32	8,30	7,40	6,98	6,59	5,88	5,23	4,65	4,13	3,66
		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	7,86	7,08	6,37	5,72
Laje de Piso	160	0,80	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
		0,95	1.600	2.550	2.650	950	3,27	21,89	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
		1,25	2.550	3.100	3.150	1.250	3,30	23,97	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	6,89	6,19	
Laje de Piso	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	25,87	20,00	19,89	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
		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

MF75

	Altura da Laje (mm)	Espessura Telha-fôrma (mm)	Vãos Máximos sem Escoramento				Peso Próprio (kN/m ²)	M. Inércia Laje Mista (10 ⁶ mm ⁴ /m)	Carga Sobreposta Máxima (kN/m ²)															
			Simples (mm)	Duplo (mm)	Tripla (mm)	Balanço (mm)			Vãos (mm)															
									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
Laje de Forro	130	0,80	2.350	3.200	3.300	1.150	2,27	10,66	11,87	10,56	9,42	8,43	7,56	6,79	6,11	5,51	4,96	4,47	4,03	3,45	2,94	2,37	1,77	1,29
		0,95	3.000	3.650	3.750	1.350	2,28	11,34	14,19	12,69	11,38	10,25	9,25	8,36	7,58	6,88	6,25	5,69	5,18	4,51	3,92	3,26	2,56	2,00
		1,25	3.650	4.300	4.400	1.650	2,32	12,74	18,83	16,94	15,31	13,88	12,62	11,50	10,51	9,63	8,84	8,13	7,48	6,63	5,88	5,03	4,15	3,42
Laje de Piso	140	0,80	2.200	3.100	3.200	1.150	2,50	13,17	13,16	11,71	10,45	9,35	8,39	7,54	6,78	6,11	5,51	4,97	4,48	3,83	3,27	2,63	1,98	1,44
		0,95	2.850	3.500	3.600	1.350	2,52	13,99	15,74	14,07	12,63	11,37	10,26	9,28	8,41	7,64	6,94	6,32	5,76	5,01	4,36	3,62	2,85	2,23
		1,25	3.500	4.150	4.250	1.600	2,55	15,68	20,00	18,79	16,98	15,39	14,00	12,76	11,67	10,69	9,81	9,02	8,31	7,36	6,53	5,59	4,61	3,81
Laje de Piso	150	0,80	2.000	3.000	3.100	1.100	2,74	16,06	14,46	12,86	11,48	10,28	9,22	8,28	7,45	6,72	6,06	5,46	4,93	4,22	3,60	2,90	2,18	1,59
		0,95	2.650	3.400	3.500	1.300	2,75	17,04	17,28	15,45	13,87	12,49	11,27	10,20	9,24	8,39	7,63	6,95	6,33	5,51	4,80	3,98	3,14	2,45
		1,25	3.400	4.000	4.100	1.550	2,79	19,05	20,00	20,00	18,65	16,91	15,38	14,02	12,82	11,75	10,78	9,91	9,13	8,09	7,18	6,15	5,07	4,19
Laje de Piso	160	0,80	1.850	2.900	3.000	1.100	2,97	19,35	15,75	14,02	12,51	11,20	10,04	9,03	8,12	7,32	6,60	5,95	5,37	4,60	3,93	3,17	2,38	1,73
		0,95	2.500	3.300	3.400	1.250	2,99	20,51	18,83	16,84	15,11	13,61	12,28	11,11	10,07	9,15	8,32	7,57	6,90	6,01	5,23	4,35	3,43	2,68
		1,25	3.250	3.900	4.000	1.500	3,02	22,90	20,00	20,00	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	
Laje de Piso	170	0,80	1.700	2.800	2.900	1.050	3,21	23,07	17,04	15,17	13,54	12,12	10,87	9,77	8,80	7,93	7,15	6,45	5,82	4,98	4,26	3,43	2,58	1,88
		0,95	2.350	3.200	3.300	1.250	3,23	24,44	20,00	18,22	16,36	14,72	13,29	12,03	10,91	9,90	9,01	8,20	7,47	6,51	5,67	4,71	3,72	2,91
		1,25	3.150	3.800	3.900	1.450	3,26	27,24	20,00	20,00	20,00	19,94	18,14	16,54	15,12	13,86	12,72	11,70	10,78	9,55	8,49	7,27	6,00	4,96
Laje de Piso	180	0,80	1.550	2.750	2.850	1.050	3,44	27,25	18,34	16,32	14,57	13,04	11,70	10,52	9,47	8,53	7,69	6,94	6,26	5,37	4,59	3,70	2,78	2,03
		0,95	2.200	3.100	3.200	1.200	3,46	28,84	20,00	19,61	17,60	15,84	14,30	12,94	11,74	10,66	9,69	8,83	8,04	7,00	6,10	5,07	4,01	3,14
		1,25	3.050	3.700	3.800	1.450	3,50	32,10	20,00	20,00	20,00	20,00	19,51	17,80	16,28	14,92	13,70	12,60	11,60	10,28	9,14	7,83	6,47	5,35
Laje de Piso	190	0,80	1.450	2.650	2.750	1.000	3,68	31,92	19,63	17,47	15,60	13,96	12,53	11,26	10,14	9,14	8,24	7,44	6,71	5,75	4,91	3,96	2,98	2,18
		0,95	2.100	3.050	3.150	1.200	3,70	33,75	20,00	20,00	18,84	16,96	15,32	13,86	12,57	11,41	10,38	9,45	8,62	7,50	6,54	5,44	4,30	3,36
		1,25	3.000	3.600	3.700	1.400	3,73	37,52	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,06	17,43	15,97	14,67	13,49	12,43	11,02	9,79	8,39	6,93	5,73
Laje de Piso	200	0,80	1.400	2.600	2.650	1.000	3,91	37,10	20,00	18,82	16,63	14,88	13,35	12,00	10,81	9,74	8,79	7,93	7,16	6,13	5,24	4,23	3,19	2,33
		0,95	1.950	2.950	3.050	1.150	3,93	39,19	20,00	20,00	20,00	18,08	16,33	14,78	13,40	12,17	11,07	10,08	9,19	8,00	6,97	5,80	4,59	3,59
		1,25	2.900	3.500	3.650	1.400	3,97	43,51	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	18,58	17,03	15,64	14,38	13,25	11,75	10,44	8,94	7,39

ANEXO B – Valores dos fatores de combinação ψ_0 e redução ψ_1 e ψ_2 para as ações variáveis

Ações		$\gamma \Omega^a$		
		ψ_0	ψ_1^d	ψ_2^e
Ações variáveis causadas pelo uso e ocupação	Locais em que não há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, nem de elevadas concentrações de pessoas ^{b)}	0,5	0,4	0,3
	Locais em que há predominância de pesos e de equipamentos que permanecem fixos por longos períodos de tempo, ou de elevadas concentrações de pessoas ^{c)}	0,7	0,6	0,4
	Bibliotecas, arquivos, depósitos, oficinas e garagens e sobrecargas em coberturas (ver B.5.1)	0,8	0,7	0,6
Vento	Pressão dinâmica do vento nas estruturas em geral	0,6	0,3	0
Temperatura	Variações uniformes de temperatura em relação à média anual local	0,6	0,5	0,3
Cargas móveis e seus efeitos dinâmicos	Passarelas de pedestres	0,6	0,4	0,3
	Vigas de rolamento de pontes rolantes	1,0	0,8	0,5
	Pilares e outros elementos ou subestruturas que suportam vigas de rolamento de pontes rolantes	0,7	0,6	0,4
^a Ver alínea c) de 4.7.5.3. ^b Edificações residenciais de acesso restrito. ^c Edificações comerciais, de escritórios e de acesso público. ^d Para estado-limite de fadiga (ver Anexo K), usar ψ_1 igual a 1,0. ^e Para combinações excepcionais onde a ação principal for sismo, admite-se adotar para ψ_2 o valor zero.				

Fonte: ABNT NBR 8800:2008 (p. 19)