

Revista Brasileira de Engenharias

ISSN 3085-8089

vol. 2, n. 1, 2026

... ARTIGO 1

Data de Aceite: 16/01/2026

DIMENSIONAMENTO DE LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO CONFORME A ABNT NBR 8800:2024

Fernanda Dos Santos Franco

Isis Cler Depolli

André Pereira Pinto



Todo o conteúdo desta revista está licenciado sob a Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (CC BY 4.0).

Resumo: Este estudo teve como objetivo a análise e o dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto, seguindo as orientações da ABNT NBR 8800:2024, norma que trata do projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto. As lajes mistas combinaram as qualidades do aço, resistente à tração, e do concreto, eficiente à compressão, resultando em soluções técnicas com bom desempenho e custo-benefício. Devido à complexidade dos cálculos de resistência e deformação, foi desenvolvida uma planilha em Excel para realizar o dimensionamento de forma rápida e prática. A validação da planilha foi realizada comparando seus resultados com exemplos técnicos existentes, garantindo sua confiabilidade e utilidade.

Palavras-chave: lajes mistas; dimensionamento; planilha.

INTRODUÇÃO

CONTEXTO HISTÓRICO

As construções em aço e concreto vêm sendo utilizadas há mais de um século e, a partir da década de 1960, passaram a ser combinadas de forma mais sistemática, com o desenvolvimento de novos conceitos e metodologias construtivas. O sistema misto de aço e concreto caracteriza-se pela associação de perfis de aço e concreto armado, resultando em elementos estruturais como vigas, pilares, lajes e ligações mistas, ampliando significativamente as possibilidades de aplicação desses materiais na construção civil (Queiroz; Pimenta e Martins, 2012).

O aço, embora conhecido desde a Antiguidade, passou a ser produzido em larga escala apenas no século XIX, com o desenvolvimento de processos industriais. No Brasil, sua produção industrial teve início após a Segunda Guerra Mundial. Atualmente, o material é obtido principalmente a partir do ferro-gusa ou da reciclagem de sucata, passando por processos de refinamento para atingir as propriedades desejadas (Pfeil; Pfeil, 2009).

Com a evolução da indústria siderúrgica e da construção civil, os sistemas estruturais mistos de aço e concreto ganharam destaque no país, especialmente pelo melhor aproveitamento das características de cada material. Mesmo em edificações predominantemente metálicas, é comum o uso de vigas e lajes mistas. A normatização dessas soluções iniciou-se com a NBR 8800:1986 e foi sendo ampliada ao longo dos anos, incorporando pilares, lajes e, mais recentemente, ligações mistas.

O avanço das técnicas construtivas levou ao uso de chapas de aço conformadas a frio como fôrmas permanentes, conhecidas como *steel deck*. Inicialmente utilizadas apenas como fôrma, essas chapas passaram a atuar de forma conjunta com o concreto a partir da década de 1940, dando origem às lajes mistas. Atualmente, o dimensionamento desses sistemas é regido pela NBR 8800:2024, que consolida os critérios técnicos para sua aplicação.

LAJES MISTAS

As lajes *steel deck* consistem em uma fôrma de aço nervurada, conformada a frio, sobre a qual é lançado o concreto. As mossas ou reentrâncias da fôrma garantem a aderência e a interação eficiente entre o aço e o concreto (Fakury; Castro e Silva; Caldas, 2016). Essa disposição é ilustrada na Figura 1.

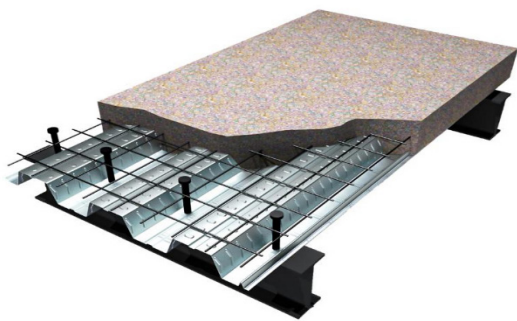


Figura 1 – Laje mista *steel deck*.

Fonte: ABECE (2022).

Esse sistema é largamente empregado em obras como edifícios, habitações, reservatórios, escadas e pontes. De acordo com Queiroz, Pimenta e Martins (2012), as lajes mistas podem ser utilizadas tanto em sistemas isostáticos quanto em estruturas contínuas, o que amplia consideravelmente suas possibilidades de aplicação. Nesse contexto, o aço funciona como uma armadura integrada ao concreto, apesar de não estar totalmente envolto por ele. Ainda assim, a laje apresenta rigidez à flexão equivalente à de uma viga mista, podendo apresentar deformações quando submetida às ações de carregamento (Fabrizzi, 2007).

Fabrizzi (2007) apresenta as principais vantagens na utilização de lajes mistas, dentre as quais se destacam:

- a) Dispensa do uso de escoramentos provisórios;
- b) Emprego da fôrma metálica como base segura para execução dos serviços;
- c) A chapa de aço desempenha função estrutural como armadura de tração;
- d) Acabamento adequado da superfície inferior da laje;
- e) Maior rapidez na execução da obra;

f) Simplificação da passagem de dutos e sistemas de instalações;

g) Redução do volume de concreto e menor produção de resíduos, favorecendo a sustentabilidade da construção.

Por outro lado, o sistema de lajes mistas apresenta algumas limitações, entre as quais se destacam a necessidade de um maior quantitativo de vigas dispostas perpendicularmente às nervuras da fôrma, para garantir o adequado suporte estrutural, bem como, por razões estéticas, a utilização de forros suspensos para o encobrimento do conjunto estrutural (Fakury; Castro e Silva; Caldas, 2016). Parte superior do formulário

Para o adequado funcionamento do sistema misto, é imprescindível que o concreto e a chapa de aço atuem em conjunto, o que depende tanto das propriedades dos materiais quanto da geometria da fôrma, responsável por promover a aderência e assegurar o desempenho estrutural. Conforme destaca Beltrão (2004), a ausência dessa interação resulta no deslizamento relativo entre o aço e o concreto, fazendo com que cada material passe a trabalhar de maneira independente, comprometendo a transferência de esforços e a eficiência do sistema.

Considerando que a aderência natural entre o concreto e o aço não pode ser garantida isoladamente, a ABNT NBR 8800:2024 estabelece mecanismos específicos para assegurar essa ligação no sistema misto. Entre eles, destacam-se a ligação mecânica proporcionada pelas mostras presentes nas fôrmas de aço de geometria trapezoidal e a ligação por atrito decorrente do confinamento do concreto em fôrmas com geometria reentrante. Nesse contexto, as chapas de aço conformadas a frio podem apresentar

saliências ou reentrâncias que favorecem a interação entre os materiais, sendo que as mossas promovem a ligação mecânica, enquanto as reentrâncias intensificam a aderência por atrito ao restringir o concreto. Ademais, o processo de conformação a frio modifica as propriedades mecânicas do aço, resultando no aumento de sua resistência, especialmente nas regiões dobradas, o que contribui para o desempenho global do sistema (Beltrão, 2004).

Entre os fabricantes nacionais de fôrmas trapezoidais, destacam-se a ArcelorMittal Perfilor e a Metform, que disponibilizam chapas com diferentes espessuras. No âmbito internacional, são empregadas fôrmas com variadas geometrias, especialmente trapezoidais ou reentrantes. A seleção da fôrma deve considerar as particularidades do projeto, sendo o vão e a sobrecarga determinantes para a definição da espessura da chapa de aço e da laje mista.

Modos de colapso lajes mistas

Queiroz, Pimenta e Martins (2012) identificam os principais modos de colapso das lajes mistas nos estados limites últimos a partir da análise de seções críticas. A seção crítica I está associada à predominância de esforços de flexão, sendo necessária a verificação da resistência ao momento fletor, considerando-se interação completa entre a fôrma de aço e o concreto, condição que pode se tornar crítica para grandes vãos de cisalhamento. A seção crítica II, caracterizada pela interação parcial entre os materiais, corresponde, em geral, ao estado limite mais relevante, uma vez que o cisalhamento longitudinal pode limitar a carga resistente antes que a laje atinja sua capacidade última à flexão. A seção crítica III é governada pelo cisalhamento vertical, tornando-se significa-

tiva apenas em situações específicas, como lajes espessas, de pequeno vão e submetidas a elevadas cargas. Por fim, a punção configura um estado limite associado à aplicação de cargas concentradas, podendo ser crítica quando combinadas pequenas espessuras de laje e reduzidos perímetros de carregamento.

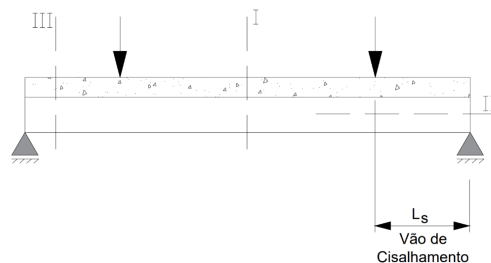


Figura 2 – Seções críticas.

Fonte: Adaptado de Queiroz, Pimenta e Martins (2012).

DIMENSIONAMENTO DAS LAJES MISTAS DE AÇO E CONCRETO

A NBR 8800:2024 estabelece que o comportamento do sistema misto ocorre em duas fases. Na fase inicial, a fôrma metálica resiste isoladamente às ações permanentes e às cargas de construção. Na fase final, após o concreto atingir 75% da resistência característica à compressão, passa a atuar em conjunto com a chapa de aço, configurando o sistema misto responsável por resistir aos carregamentos de projeto nos estados limites últimos.

Verificação da fôrma de aço na fase inicial

As verificações das fôrmas na fase inicial são complexas, em função das particularidades geométricas e da suscetibilidade à flambagem local; contudo, os fabricantes disponibilizam tabelas de pré-dimensionamento que conferem maior simplificação

e praticidade ao processo (Fakury; Castro e Silva; Caldas, 2016).

Estados-limite últimos

A verificação da fôrma de aço durante a fase inicial da obra deve seguir os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 14762:2010, considerando os efeitos das nervuras (mossas) na resistência de cálculo, bem como as propriedades geométricas da seção transversal.

Estados-limite de serviço

O deslocamento máximo permitido da fôrma de aço, causado pelo peso próprio e pelo concreto fresco, deve ser limitado ao menor valor entre $L_f/180$ ou 20 mm, sendo L_f o vão teórico da fôrma na direção das nervuras, de acordo com a NBR 8800:2024. As características geométricas da seção transversal devem ser determinadas conforme a ABNT NBR 14762:2010, desconsiderando, nos cálculos, as partes da seção correspondentes às nervuras (mossas).

Verificação da fôrma de aço na fase final

Nessa etapa, avalia-se a segurança estrutural da laje mista, considerando os estados limites últimos, por meio da análise do momento fletor, do cisalhamento longitudinal e transversal, bem como da resistência à punção. Para os estados limites de serviço, examina-se a fissuração do concreto e os deslocamentos verticais, em conformidade com a ABNT NBR 8800:2024.

Estados-limite últimos: verificação ao Momento Fletor

Para lajes mistas sem armadura adicional, a NBR 8800:2024 estabelece que o dimensionamento do momento fletor positivo deve considerar a posição da linha neutra plástica (LNP), tanto acima quanto abaixo da face superior da fôrma de aço. Em que se deve avaliar as seguintes condições:

- $N_{cf} \geq N_{pa} \rightarrow$ LNP está acima da fôrma de aço
- $N_{cf} < N_{pa} \rightarrow$ LNP está cortando a fôrma de aço

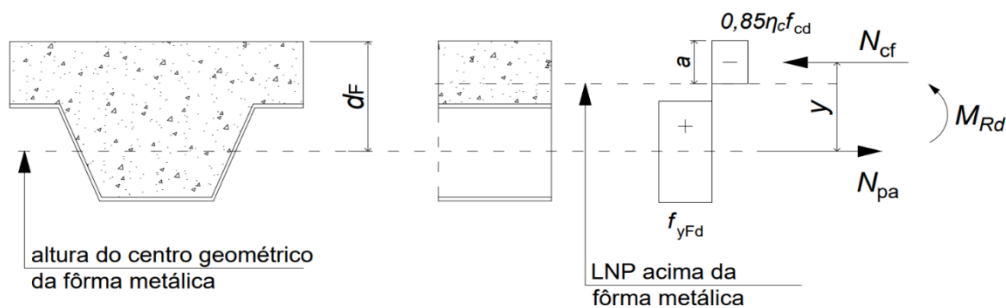


Figura 3 – Diagrama de tensões para o momento positivo – LNP acima da fôrma de aço.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8800 (2024, p.249).

Dessa maneira, a resistência ao momento fletor positivo resistente de cálculo (M_{Rd}) pode ser determinada conforme as expressões apresentadas a seguir.

Para linha neutra plástica acima da fôrma de aço

O momento fletor positivo resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = N_{pa} (d_F - 0,5 \times a) \quad (1)$$

Em que:

$d_F \rightarrow$ corresponde a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

$a \rightarrow$ é a altura do bloco de compressão do concreto.

A força normal de plastificação da fôrma de aço (N_{pa}) é expressa por:

$$N_{pa} = A_{fF,ef} \times f_{yFd} \quad (2)$$

$$f_{yFd} = \frac{f_{yF}}{\gamma_{a1}} \quad (3)$$

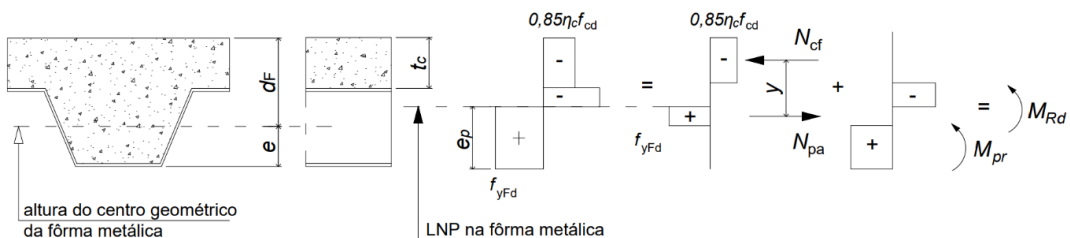


Figura 4 – Diagrama de tensões para o momento positivo – LNP na fôrma de aço.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8800 (2024, p.250).

Onde:

$A_{fF,ef} \rightarrow$ é a área da seção efetiva da fôrma, correspondente a 1000mm;

$f_{yF} \rightarrow$ corresponde a resistência ao escoamento do aço da fôrma de aço incorporada;

$\gamma_{a1} \rightarrow$ representa o coeficiente de ponderação da resistência dos materiais;

A altura do bloco de compressão do concreto pode ser calculada como:

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

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (5)$$

Sendo:

$b \rightarrow$ corresponde a largura unitária da laje, considerada igual a 1000mm;

$\eta_c \rightarrow$ coeficiente de fragilidade do concreto;

$f_{ck} \rightarrow$ é a resistência característica à compressão do concreto;

$\gamma_c \rightarrow$ representa o coeficiente de ponderação da resistência dos materiais;

O coeficiente de fragilidade do concreto (η_c) é definido pela equação:

$$\eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 1,0 \quad (6)$$

Para linha neutra plástica na fôrma de aço

O momento fletor positivo resistente de cálculo é dado por:

$$M_{Rd} = (N_{cf} \times y) + M_{pr} \quad (7)$$

Em que:

$d_F \rightarrow$ corresponde a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

$a \rightarrow$ é a altura do bloco de compressão do concreto.

Tal que, a força resultante normal no concreto (N_{cf}) é expressa por:

$$N_{cf} = 0,85 \times b \times t_c \times n_c \times f_{cd} \quad (8)$$

Onde:

$t_c \rightarrow$ corresponde à altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço.

A distância entre as forças resultantes de compressão no concreto e de tração na fôrma de aço é representado por y , e ilustrado na Figura 13. Essa distância é obtida pela expressão:

$$y = h_t - (0,5 \times t_c) - e_p + (e_p - e) \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \quad (9)$$

Sendo:

$h_t \rightarrow$ é a altura total da laje, incluindo a fôrma e o concreto;

$e \rightarrow$ é a distância do centro geométrico da área efetiva da fôrma à sua face inferior;

$e_p \rightarrow$ é a distância da linha neutra plástica da seção efetiva da fôrma à sua face inferior.

O momento de plastificação da fôrma de aço, reduzido pela presença da força axial é expresso pela equação:

$$M_{pr} = 1,25 \times M_{pa} \times \left(1 - \frac{N_{cf}}{N_{pa}} \right) \leq M_{pa} \quad (10)$$

Onde:

$M_{pa} \rightarrow$ corresponde ao momento de plastificação da fôrma de aço, considerando sua seção efetiva, dividido pelo coeficiente de ponderação da resistência ;

Em lajes mistas com armadura adicional positiva, sua atuação conjunta com a fôrma de aço deve ser considerada, enquanto os momentos fletores negativos em lajes contínuas podem ser determinados por análise elástica ou elasto-plástica, conforme o EUROCODE 4, devido à ausência de norma específica na ABNT NBR 8800:2024.

$$M_{Rd,pl} = A_s \times f_{sd} \times z \quad (11)$$

Em que:

$A_s \rightarrow$ corresponde a área da armadura para largura unitária da laje;

$f_{sd} \rightarrow$ é a tensão de escoamento do aço da armadura.

Considerando a força resultante normal no concreto (N_c) expressa por:

$$N_c = 0,85 \times f_{cd} \times b_b \times x = A_s \times f_{sd} \quad (12)$$

Sendo:

$b_c \rightarrow$ corresponde à largura de concreto comprimida no interior das nervuras;

A distância da linha neutra plástica à face inferior da laje é dada por:

$$x = \frac{A_s \times f_{sd}}{0,85 \times f_{cd} \times b_b} \quad (13)$$

A distância entre as forças resultantes de compressão no concreto e de tração na fôrma de aço é definido pela equação a seguir:

$$z = d_s - \frac{x}{2} \quad (14)$$

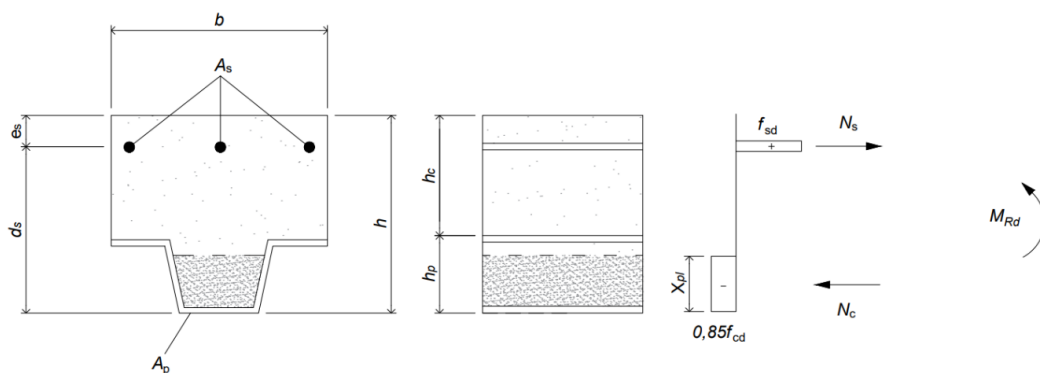


Figura 5 – Diagrama de tensões para o momento fletor negativo.

Fonte: Adaptado de EUROCODE 4 (2004, p.102).

Onde:

$d_s \rightarrow$ corresponde a distância vertical entre a face inferior da laje e a armadura.

Estados-limite últimos: verificação ao Cisalhamento Longitudinal

A resistência ao cisalhamento longitudinal das lajes com fôrma de aço incorporada pode ser determinada por meio do método semiempírico m-k, conforme a fórmula indicada na ABNT NBR 8800:2024, apresentada a seguir:

$$V_{l,Rd} = \frac{b \times d_F}{\gamma_{sl}} \left[\left(\frac{m \times A_{F,ef}}{b \times L_s} \right) + k \right] \quad (15)$$

Em que:

$d_F \rightarrow$ é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma

$b \rightarrow$ é a largura unitária da laje, considerada igual a 1000 mm;

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

$A_{F,ef} \rightarrow$ é área da seção efetiva da fôrma, correspondente a 1000 mm.

O comprimento do vão de cisalhamento L_s deve ser definido da seguinte forma:

- a) Para cargas distribuídas uniformemente, considera-se $L_t/4$;
- b) Para duas cargas concentradas aplicadas simetricamente, utiliza-se a distância entre uma das cargas e o apoio mais próximo;
- c) Em outras situações de carregamento, como cargas distribuídas e concentradas de forma assimétrica, pode-se utilizar a relação entre o momento máximo e a maior reação de apoio, ou ainda, outras formas de carregamento.

Para lajes mistas contínuas, a ABNT NBR 8800:2024 permite utilizar um vão equivalente simplesmente apoiado para avaliar a resistência, considerando 80% do vão real para trechos internos e 90% para vãos de extremidade. Os parâmetros m e k , necessários para o dimensionamento, devem ser obtidos por ensaios experimentais específicos para cada tipo de fôrma metálica, pois dependem de suas características geométricas e do detalhamento das nervuras (Fakury; Castro e Silva; Caldas, 2016).

Estudos, como o de Gomes (2001) com fôrmas Metform de diferentes espessuras, indicaram que os valores experimentais das constantes m e k podem ser aplicáveis também a concretos de massa convencional, conforme apresentado na Tabela 1.

Espessura nominal da fôrma (mm)	m (KN/m)	k (KN/m. mm)
0,8	152,14	0,001697
0,95	170,97	0,014196
1,25	208,63	0,0391194

Tabela 1 – Constantes “ m e k ”

Fonte: Gomes (2001, p.104).

Estados-limite últimos: verificação ao Cisalhamento Vertical

De acordo com a ABNT NBR 8800:2024 a resistência ao cisalhamento vertical em lajes mistas pode ser determinada pelas seguintes equações:

$$V_{V,Rd} = V_{V,F,Rd} + V_{V,c,Rd} \leq V_{max} \quad (16)$$

A força cortante vertical resistente de cálculo do concreto, pode ser obtida pela por:

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \times \tau_{Rd} \times k_v \times (1,2 + 40 \times \rho) \times A_v}{b_n} \quad (17)$$

Sendo que:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \quad (18)$$

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

$$f_{ctd} = \frac{\eta \times f_{ctk,inf}}{Y_c} \quad (20)$$

$$\eta = 0,3 + 0,7 \times \left(\frac{\rho_c}{2400} \right) \quad (21)$$

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \times (f_{ck})^{2/3} \quad (22)$$

Onde:

$A_s \rightarrow$ A área resistente do concreto;

$A_v \rightarrow$ É a área da armadura longitudinal de tração;

$b_n \rightarrow$ representa a largura entre duas nervuras consecutivas.

O valor de (k_v) deve estar entre os seguintes casos:

a) Quando houver armadura longitudinal de tração que se estenda por, no mínimo, $d + l_{b,nec}$ além da seção considerada:

$$k_v = \left(1,6 - \frac{D}{1000} \right) \geq 1,0 \quad (23)$$

b) Nos demais casos:

$$k_v = 1,0 \quad (24)$$

Onde:

$D \rightarrow$ é a distância da face superior da laje de concreto ao centro da armadura longitudinal de tração;

$l_{b,nec} \rightarrow$ corresponde ao comprimento de ancoragem necessário.

Para a determinação da força cortante vertical resistente de cálculo da forma de aço incorporada ($V_{V,F,Rd}$), a ABNT NBR 8800:2024 estabelece que o procedimento deve seguir os critérios da ABNT NBR 14762:2010, que abrange o dimensionamento de estruturas de aço constituídas por perfis formados a frio.

O limite da força cortante (V_{max}) é expresso por:

$$V_{max} = \frac{1000 \times 0,285 \times (f_{ck})^{1/2} \times A_v}{b_n} \quad (25)$$

Estados-limite últimos: verificação a Punção

A punção se torna um aspecto crítico quando as lajes mistas de pequena espessura são submetidas a cargas concentradas. A verificação realizada possui modo análogo às lajes maciças, com perímetro crítico definido pela área de aplicação da carga a 45° e resistência calculada pela equação dada a seguir:

$$V_{p,Rd} = u_{cr} \times d_1 \times \tau_{Rd} \quad (26)$$

Onde:

$$d_1 = \frac{d_F + t_c}{2} \quad (27)$$

Sendo:

$u_{cr} \rightarrow$ é o perímetro crítico, expresso em milímetros (mm);

$d_F \rightarrow$ é a distância da face superior da laje de concreto ao centro geométrico da seção efetiva da fôrma;

$t_c \rightarrow$ corresponde à altura da laje de concreto acima do topo da fôrma de aço.

$$\tau_{Rd} = 0,13 \times k_p \times (100 \times \rho \times f_{ck})^{1/3} \geq 0,30 \times f_{ctd} \quad (28)$$

Onde:

$$k_p = 1 + \sqrt{\frac{200}{d_1}} \leq 2,0 \quad (29)$$

$$\rho = \sqrt{\rho_F \times \rho_s} \leq 0,02 \quad (30)$$

As taxas de armadura longitudinais e transversais à fôrma são dadas por:

$$\rho_F = \frac{A_F + A_{sl}}{d_F \times (b_p + 2h_r + 3d_F)} \quad (31)$$

$$\rho_s = \frac{A_{st}}{t_c \times (b_1 + 2h_r + 3d_F)} \quad (32)$$

Tal que:

$A_F \rightarrow$ é a área da seção da fôrma de aço, referente à largura $(b_p + 2h_r + 3d_F)$, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

$A_{sl} \rightarrow$ é a área da armadura longitudinal, referente à largura $(b_p + 2h_r + 3d_F)$, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

$A_{st} \rightarrow$ é a área da armadura transversal, referente à largura $(b_p + 2h_r + 3d_F)$, expressa em milímetros quadrados (mm^2);

b_1 e $b_p \rightarrow$ são dimensões do perímetro crítico, conforme a Figura (15), expressas em milímetros (mm);

$h_r \rightarrow$ corresponde à altura do revestimento da laje, expressa em milímetros (mm), se houver.

Estado-limite de serviço: fissuração do concreto

A fissuração excessiva do concreto ocorre principalmente em lajes expostas a ambientes agressivos ou com falhas no sistema de impermeabilização, concentrando-se na face superior e nos apoios intermediários, uma vez que a fôrma de aço protege a face inferior (Fabrizzi, 2007). Em lajes simplesmente apoiadas, recomenda-se a utilização de armadura mínima para controle de fissuração, geralmente na forma de tela soldada, correspondente a, no mínimo, 0,1% da área de concreto acima da fôrma.

$$A_{s,min} = 0,1\% A_c \quad (33)$$

Estado-limite de serviço: Deslocamento vertical

O deslocamento vertical permitido para as lajes mistas não pode ser maior que $L_f/350$, considerando apenas as ações variáveis, sendo L_f o vão teórico da laje na direção das nervuras (ABNT NBR 8800:2024).

$$\delta < \frac{L_F}{350} \quad (34)$$

METODOLOGIA

Inicialmente, realizou-se uma revisão de literatura baseada na ABNT NBR 8800:2024, com foco nas diretrizes para o dimensionamento de lajes mistas com fôrma de aço incorporada. A partir dessa revisão, desenvolveu-se uma ferramenta computacional em Microsoft Excel, capaz de receber os dados de entrada do usuário e calcular automaticamente os elementos estruturais das lajes mistas, atendendo às prescrições normativas.

A planilha contempla as fôrmas MF-50 e MF-75 da Metform e realiza verificações nos estados limite último (momento fletor, cisalhamento longitudinal e vertical, punção) e de serviço (fissuração do concreto e deslocamento vertical). Limita-se a lajes unidirecionais, biapoiadas ou contínuas, submetidas a carregamentos uniformemente distribuídos ou lineares, não incluindo armaduras adicionais ou análise em situação de incêndio.

Para obtenção dos esforços solicitantes, utilizou-se o software Ftool, complementando o dimensionamento automatizado. Os resultados são apresentados de forma

simplificada, com indicação de conformidade (“OK” ou “Não OK”) e cálculo da tela de fissuração do concreto. A validação da ferramenta foi realizada por comparação com exemplos da literatura, assegurando a coerência e a precisão dos procedimentos adotados.

DIMENSIONAMENTO

Neste tópico, expõe-se o dimensionamento de lajes mistas por meio de exemplos resolvidos, adaptados conforme os preceitos da ABNT NBR 8800:2024, os quais servem de fundamento para a validação da planilha desenvolvida, considerando-se, para efeitos deste estudo, a não utilização de armaduras adicionais.

EXEMPLO 1

O primeiro exemplo selecionado para validação da planilha baseia-se em uma laje mista de edificação apresentada por Bento (2021). Neste estudo, optou-se por não considerar armadura adicional, pois está fora do escopo deste trabalho. A análise considera uma laje mista tipo *Steel Deck*: MF-75, composta por Aço ZAR-280 ($f_y = 280 \text{ MPa}$), e concreto com $f_{ck} = 25 \text{ MPa}$. A fôrma possui espessura de $1,25 \text{ mm}$, e a altura total da laje é de 140 mm . O Vão isostático adotado é de 3300 mm , com peso próprio da laje (P_p) de $2,55 \text{ KN/m}^2$, conforme o catálogo do fabricante. As cargas permanentes incluem o revestimento (q), com $1,4 \text{ KN/m}^2$ e o Forro (q_1), com $0,15 \text{ KN/m}^2$. A sobrecarga de utilização (q_2) considerada é de 2 KN/m^2 , em conformidade com a ABNT NBR 6120:2019.

O catálogo da Metform indica a carga máxima admissível da fôrma conforme altura, espessura e vão teórico. Para a verificação,

desconsidera-se o peso próprio do *steel deck*, sendo a carga atuante na laje determinada a seguir.

$$Q = (q + q_1 + q_2) \times \gamma \rightarrow$$

$$Q = (1,4 + 0,15 + 2) \times 1,4 \rightarrow Q = 4,97 \text{ KN/m}^2$$

Segundo o catálogo, a carga máxima admissível pela fôrma é de $6,53 \text{ KN/m}^2$, indicando conformidade. Para as verificações, inclui-se o peso próprio da fôrma metálica, conforme segue.

$$Q_T = (p_p + q + q_1 + q_2) \times \gamma \rightarrow$$

$$Q_T = (2,55 + 1,4 + 2 + 0,15) \times 1,4 \rightarrow Q_T = 8,54 \text{ KN/m}^2$$

Obtida a carga total (Q_T), a estrutura é analisada no Ftool (2017), para obtenção dos esforços solicitantes, cujos carregamentos e diagramas são expressos a seguir:

$$\text{Assim, } M_{sd} = 11,60 \text{ KN.m} \quad \text{e} \quad V_{sd} = 14,10 \text{ KN}.$$

Com base nisso, são realizadas as seguintes verificações:

a) Verificação ao momento fletor

$$\eta_c = \left(\frac{40}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 1,0 \rightarrow \eta_c = \left(\frac{40}{25} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 1,0 \rightarrow \eta_c = 1,17 > 1,0$$

$$N_{cf} = 0,85 \times b \times t_c \times n_c \times f_{cd}$$

$$N_{cf} = 0,85 \times 100 \times 6,5 \times 1,17 \times \frac{2,5}{1,4} \rightarrow N_{cf} = 1153,94 \text{ KN}$$

$$N_{pa} = A_{f,ef} \times f_{yF,d} \rightarrow N_{pa} = 17,71 \times \frac{28}{1,15} \rightarrow N_{pa} = 431,2 \text{ KN}$$

$$\text{Assim, } N_{cf} \geq N_{pa}$$



Figura 6 – Carregamento distribuído na laje.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

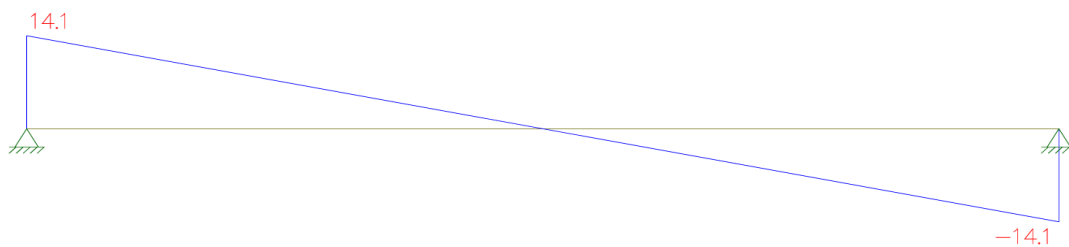


Figura 7 – Diagrama de esforço cortante na laje.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

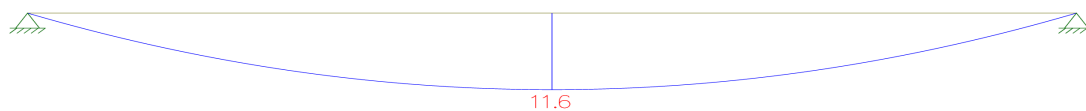


Figura 8 – Diagrama de momento fletor na laje.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

A linha neutra plástica está acima da fôrma de aço. Assim, o momento fletor resistente pela fôrma é obtido através de:

$$M_{Rd} = N_{pa} \times (d_F - 0,5 \times a)$$

$$a = \frac{N_{pa}}{0,85 \times \eta_c \times f_{cd} \times b} \rightarrow$$

$$a = \frac{431,2}{0,85 \times 1,17 \times \frac{2,5}{1,4} \times 100} \rightarrow a = 2,429 \text{ cm}$$

$$M_{Rd} = N_{pa} \times (d_F - 0,5 \times a)$$

$$M_{Rd} = 431,2 \times (102,5 - 0,5 \times 2,429) \times 10^{-3} \rightarrow M_{Rd} = 38,96 \text{ KN.m}$$

$$M_{Rd} = 38,96 \text{ KN.m} > M_{sd} = 11,60 \text{ KN.m}$$

(Ok)

a) Cisalhamento Longitudinal

$$L_s = 0,9 \times \frac{L_F}{4} = 0,9 \times \frac{3,30}{4} = 0,7425 \text{ m}$$

$$V_{l,Rd} = \frac{b \times d_F}{\gamma_{sl}} \times \left[\left(\frac{m \times A_{F,ef}}{b \times L_s} \right) + k \right]$$

$$V_{l,Rd} = \frac{100 \times 1,025}{1,25} \times \left[\left(\frac{208,63 \times 1771}{1000 \times 742,50} \right) + 0,0391194 \right]$$

$$V_{l,Rd} = 44,01 \text{ KN} > V_{sd} = 14,10 \text{ KN}$$

(Ok)

b) Cisalhamento Vertical

A força cortante vertical resistente de cálculo das lajes com fôrma de aço incorporada é obtida por:

$$V_{v,Rd} = V_{v,c,Rd} + V_{v,F,Rd} > V_{v,sd}$$

Assim, a força cortante vertical resistente de cálculo do concreto é dada por:

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

$$\tau_{Rd} = 0,25 \times f_{ctd}$$

$$f_{ctd} = \frac{\eta \times f_{ctk,inf}}{Y_c}$$

$$f_{ctk,inf} = 0,21 \times (f_{ck})^{2/3}$$

Assim, substituindo os valores:

$$\tau_{Rd} = 0,25 \times \frac{0,21 \times (f_{ck})^{2/3} \times \eta}{Y_c}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \times \frac{0,21 \times (f_{ck})^{2/3} \times \left(0,3 + 0,7 \times \left(\frac{\rho_c}{2400} \right) \right)}{Y_c}$$

$$\tau_{Rd} = 0,25 \times \frac{0,21 \times (25)^{2/3} \times \left(0,3 + 0,7 \times \left(\frac{2400}{2400} \right) \right)}{1,4} \rightarrow \tau_{Rd} = 0,32$$

Para o valor de k_v , avaliando as duas condições apresentadas na ABNT NBR 8800:2024, considera-se que não há armadura de tração no interior da nervura. Portanto:

$$k_v = 1,0$$

O catálogo Metform disponibiliza as dimensões da fôrma, que são utilizadas no cálculo da área de concreto resistente, determinada por:

$$A_v = \frac{(187 + 119) \times 140}{2} = 21420 \text{ mm}^2$$

Sendo:

$$\rho = \frac{A_s}{A_v} \leq 0,02 \rightarrow \rho = \frac{0}{21420} \leq 0,02.$$

Como $A_s = 0$. Logo, $\rho = 0$.

$$V_{v,c,Rd} = \frac{1000 \times 0,32 \times 1,0 \times (1,2 + 40 \times 0) \times 21420}{274}$$

$$V_{v,c,Rd} = 30019,27 \frac{N}{m} = 30,02 \frac{KN}{m}$$

$$\frac{h}{t} \leq 1,08 \times \left(\frac{E \times k_v}{f_y} \right)^{0,5} \rightarrow \frac{68,92}{1,25} \leq 1,08 \times \left(\frac{20000 \times 5,0}{28} \right)^{0,5} \rightarrow 55,14 \leq 64,54 (Ok)$$

$$V_{V,F,Rd} = \frac{0,6 \times f_y \times h \times t}{Y} \rightarrow$$

$$V_{V,F,Rd} = \frac{0,6 \times 28 \times 6,892 \times 0,125}{1,15}$$

$$\rightarrow V_{V,F,Rd} = 12,60 \text{ KN}$$

$$V_{V,F,Rd} = 6 \times 12,60 \times \frac{1000}{820} = 92,20 \text{ KN/m}$$

$$V_{v,Rd} = V_{v,c,Rd} + V_{V,F,Rd} > V_{v,sd}$$

$$V_{v,Rd} = 30,02 + 92,20 = 122,22$$

$$KN/m > V_{v,sd} = 14,10 \text{ KN/m} (Ok)$$

c) Deslocamento vertical máximo

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{0,0130 \times q \times L^4}{E_s \times I_{ef}} < \frac{L_F}{350}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = \frac{0,0130 \times 0,002 \times 3300^4}{200000 \times 1666741} < \frac{3300}{350}$$

$$\delta_{m\acute{a}x} = 0,00925 \text{ mm} < \delta_{adm} = 9,43 \text{ mm} (Ok)$$

d) Armadura de combate a fissuração

$$A_{s,min} = 0,1\% \times 100 \times 6,5 \rightarrow A_{s,min} = 0,65 \frac{cm^2}{m}$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Apresentam-se, nesta seção, os resultados obtidos por meio da planilha desenvolvida para a análise e verificação de lajes mistas, os quais são comparados com exemplos de referência da literatura, visando à

Cálculo teórico			Planilha		
Momento Fletor Positivo			Momento Fletor Positivo		
M_{Rd} (KN.m)	38,96	Ok	M_{Rd} (KN.m)	38,96	Ok
Cisalhamento Longitudinal			Cisalhamento Longitudinal		
$V_{l,Rd}$ (KN/m)	44,01	Ok	$V_{l,Rd}$ (KN/m)	44,01	Ok
Cisalhamento Vertical			Cisalhamento Vertical		
$V_{v,Rd}$ KN/m	122,22	Ok	$V_{v,Rd}$ KN/m	122,95	Ok
Deslocamento Vertical			Deslocamento Vertical		
$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	0,00925 mm		$\delta_{m\acute{a}x}$ (mm)	0,00926 mm	Ok
$\delta_{lim \square}$ (mm)	9,43 mm		$\delta_{lim \square}$ (mm)	9,43 mm	Ok

Tabela 2 – Resultados comparativos do Exemplo 1: cálculo teórico e planilha.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

validação da metodologia adotada. A seguir são expressos os resultados do exemplo 1:

DISCUSSÕES

A comparação entre os resultados da planilha e os exemplos de validação evidencia a consistência da ferramenta e sua conformidade com os procedimentos normativos. As diferenças observadas foram pouco significativas, decorrentes principalmente de arredondamentos ou variações pontuais nos parâmetros adotados, sem comprometer o atendimento às verificações estruturais.

A concordância dos resultados demonstra a adequação das formulações implementadas e da representação da rigidez da seção mista, indicando que a planilha é apropriada como instrumento de apoio ao dimensionamento de lajes mistas, proporcionando maior agilidade e confiabilidade às análises.

CONCLUSÃO

Este estudo compreendeu a elaboração de uma planilha para o dimensionamento de lajes mistas na fase final de utilização, segundo os critérios normativos da ABNT NBR 8800:2024, considerando os estados limites último e de serviço.

As análises indicaram que, embora catálogos comerciais recomendem a utilização de concretos com , para esse valor o coeficiente de fragilidade do concreto excede o limite normativo , o que evidencia a necessidade de maior rigor na definição da resistência mínima do concreto.

Contudo, diante da escassez de softwares nacionais específicos, a ferramenta proposta configura-se como uma alternativa acessível e complementar aos catálogos exis-

tentes, tendo sua confiabilidade verificada por meio de exemplos da literatura.

Como perspectivas futuras, sugerem-se estudos sobre lajes mistas que abordem a aplicação em armadura positiva adicional, análise de custos e comportamento em situação de incêndio, conforme as normas vigentes.

REFERÊNCIAS

ABECE. Laje mista *steel deck* é abordada em bate-papo da ABECE. 2022. Disponível em: <https://site.abece.com.br/laje-mista-steel-deck-e-abordada-em-bate-papo-da-abece/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro, 2023.

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, 2024.

BELTRÃO, Allyson José do Nascimento. **Comportamento estrutural de lajes-mistas com corrugações na alma de perfis de chapa dobrada**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/projetosEspeciais/ETDs/consultas/conteudo.php?strSecao=resultado&nrSeq=4370&idi=1>. Acesso em: 10 jun. 2025.

BENTO, Antonio Anderson Ponte. **Estudo comparativo entre lajes nervuradas unidirecionais em concreto armado e lajes steel deck para residência unifamiliar**. Fortaleza, 2021.

EN 1994-1-1: 2004. Design of composite steel and concrete structures: part 1.1: general rules and rules for buildings. EUROCODE 4, European Committee for Standardization, 2004.

FABRIZZI, Marcela de Arruda. **Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos aço-concreto**. 2007. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-28082007-111757/publico/Marcela_Fabrizzi.pdf. Acesso em: 16 maio 2025.

FAKURY, Ricardo Hallal; SILVA, Ana Lydia Reis de Castro e; CALDAS, Rodrigo Barreto. **Dimensionamento de elementos estruturais de aço e mistos de aço e concreto**. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

FILHO, Oswaldo Teixeira Baião. **Estudo comparativo de respostas estruturais antes da cura do concreto de formas metálicas incorporadas às lajes**. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/handle/1843/PASA-89DGFN>. Acesso em: 05 jun. 2025.

FRANCO, Fernanda dos Santos. **Dimensionamento de lajes mistas de aço e concreto conforme a ABNT NBR 8800:2024**. 2025. 102 f. TCC (Graduação em Bacharelado em Engenharia Civil) - Instituto Federal do Espírito Santo, Nova Venécia, 2025.

GOMES, Luciano Carvalhais. **Estudo do Sistema de Lajes Mistas com Fôrma de Aço Incorporada Empregando Concreto Estrutural Leve**. 2001. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, UFMG, Belo Horizonte, 2001. Disponível em:

https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUDB-8AMJFA/1/estudo_do_sistema_de_lajes_mistas..._luciano_carvalhais_gomes.pdf. Acesso em: 13 maio 2025.

PFEIL, Walter; PFEIL, Michele. **Estruturas de Aço: Dimensionamento Prático**. 8ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.

QUEIROZ, Gilson; PIMENTA, Roberval José; MARTINS, Alexander Galvão. **Estruturas mistas: volume 2**. Rio de Janeiro: Instituto Aço do Brasil, 2012. 76 p. (Série Manual de construção em aço). ISBN 9788589819299. Disponível em: <https://www.ebah.com.br/content/ABAAAhFhwAF/livros-cbca-estruturas-mistas-vol-1>. Acesso em: 13 abr. 2025.

APÊNDICE A – PLANILHA DESENVOLVIDA

Verificação ao Momento Fletor - ELU		
ηc	1,17	
a	24,29	mm
Npa	431,20	KN
Ncf	1153,94	KN
Linha neutra	Ncf>Npa, a linha neutra plástica está acima da forma de aço	
Linha neutra plástica acima da fôrma de aço		
Mrd	38,96	KN.m
Linha neutra plástica na fôrma de aço		
e	-	mm
ep	-	
y	-	mm
Mpa	-	Kn.cm
Mpr	-	
Mrd	-	KN.m
Verificação		
Momento máximo de cálculo (Msd)	11,63	KN.m
Verificação	Ok	

Verificação ao cisalhamento longitudinal - ELU		
L _s	742,50	mm
A _{F,ef}	1771,00	mm
V _{I,Rd}	44,01	KN/m
Digite o cortante máximo de cálculo (V _{sd})	14,09	KN
Verificação	Ok	

Verificação ao cisalhamento vertical - ELU		
Força cortante vertical resistente de cálculo da fôrma de aço incorporada - V_v, F, R_d		
K_v	5,00	
Espessura de projeto	1,21	mm
h	6,89	mm
λ_w	5,70	
Condição 1	12,7	
Condição 2	FALSO	
Condição 3	FALSO	KN
V_v, F, R_d	12,7	P/ uma alma
V_v, F, R_d	92,93	KN/m
Largura efetiva (b_{ef})	0	mm
Força cortante vertical resistente de cálculo do concreto - V_v, c, R_d		
A_s	0,00	mm ²
A_v	21420,00	mm ²
ρ	0,00	Ok
K_v	1	
τ_{Rd}	0,32	N/mm ²
Força cortante vertical resistente de cálculo do concreto (V_v, c, R_d)	30,02	KN/m
Força cortante vertical resistente de cálculo da laje mista		
Força cortante vertical resistente de cálculo da laje mista (V_v, R_d)	122,95	KN/m
Força cortante máxima (V_{max})	111,40	KN
Força cortante vertical resistente de cálculo (V_v, S_d)	14,09	KN/m
$V_v, R_d > V_v, s_d$	Ok	

Fissuração do concreto - ELS			
Área de aço mínima acima da face superior da fôrma deve ser maior ou igual a:	0,65	cm ² /m	
Armadura para retração em tela soldada	Q-75	ø3,8 x ø3,8 - 150x150	
Deslocamento vertical - ELS			
$\delta_{máx}$	0,00926	mm	
δ_{lim}	9,43	mm	
Verificação	Ok		

Disposições construtivas		
Espessura de concreto sobre a fôrma	65	mm
Verificação	Ok, espessura superior a 50 mm	
Dimensão máxima característica do agregado graúdo		
Brita 0	12,5	mm
Verificação	Ok, passou	mm
Brita 1	25	mm
Verificação	Ok, passou	mm