

ANÁLISE COMPARATIVA DE CONSUMO DE MATERIAIS ENTRE VIGAS MISTAS DE AÇO E CONCRETO COM DIFERENTES OPÇÕES DE LAJES

THALITA EMANUELA MATOS FROTA LEMOS DUARTE^{1*}; MARIA DE LOURDES TEIXEIRA MOREIRA²;

¹Engenheira Civil pela Universidade Federal do Piauí, Teresina-PI, Thalita-duarte@hotmail.com;

²Dr. em Estruturas, Prof. Associada DE, UFPI, Teresina-PI, mmoreira@ufpi.edu.br;

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2018
21 a 24 de agosto de 2018–Maceió-AL, Brasil

RESUMO: Para verificar de que forma os diferentes tipos de laje (maciça, pré-moldada e mista) influenciam no dimensionamento e qual destas é mais vantajosa, utilizando de forma mais racional materiais e recursos, realizou-se o dimensionamento de um pavimento tipo de um edifício comercial utilizando cada uma das três opções citadas anteriormente e analisaram-se os resultados obtidos. Constatou-se que as vigas mistas com laje pré-moldada treliçada apresentaram a maior economia quanto ao consumo dos principais materiais utilizados. Também se verificou que as vigas que possuíam cargas concentradas, independentemente do tipo de laje utilizada, apresentaram os perfis metálicos mais robustos.

PALAVRAS-CHAVE: Vigas mistas. Lajes Maciças. Lajes Mistas. Lajes Pré-moldadas.

COMPARATIVE ANALYSIS OF CONSUMPTION OF MATERIALS BETWEEN COMPOSITE BEAMS OF STEEL AND CONCRETE WITH DIFFERENT SLAB OPTIONS

ABSTRACT: In order to verify how the different types of slab (massive, precast and mixed) influence the design and which one is more advantageous, using a more rational materials and resources, was designed a floor type of a building using each of the three options mentioned above and analyzed the results obtained. It was verified that the mixed beams with pre-cast latticed slab presented the greatest saving in the consumption of the main materials used. It was also verified that the beams that had concentrated loads, regardless of the type of slab used, showed the most robust metal profiles.

KEYWORDS: Composite beam. Slab form of steel built. Slab precast. Slab solid.

INTRODUÇÃO

O concreto é o material mais utilizado na construção civil no Brasil e no mundo. Entre os motivos desta alta popularidade podemos citar sua versatilidade (pode ser moldado em formas diversas), elementos constituintes abundantes e de baixo custo, resistência à compressão e elevada rigidez.

Outro material também muito utilizado na construção civil é o aço. Ele apresenta elevada resistência à tração, elementos esbeltos, o que gera um alívio na carga das fundações, e rapidez na execução.

Esses materiais podem ser utilizados de forma isolada ou podem trabalhar em conjunto, formando os elementos mistos, que permitem a combinação das vantagens do aço e do concreto, tanto em termos estruturais como construtivos.

Segundo Pfeil (2009, p.264) “denominam-se vigas mistas aço-concreto as vigas formadas pela associação de um perfil metálico com uma laje de concreto, sendo os dois elementos ligados por conectores mecânicos”. A NBR 8800 cita que as lajes podem ser dos tipos: maciça moldada no local, mista (com forma de aço incorporada) ou de concreto pré-moldado (ABNT, 2008).

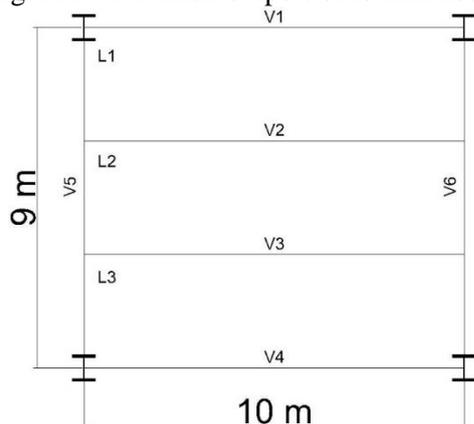
Com a atual crise econômica do país e a crescente preocupação com o desenvolvimento sustentável, as estruturas mistas vêm se tornando uma opção cada vez mais competitiva por apresentarem um menor tempo de execução, menor consumo de materiais, se comparadas com as estruturas simples de concreto armado, e maior rigidez, se comparadas com as estruturas simples de aço.

MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se o dimensionamento de vigas mistas para três tipos de lajes (maciça, mista e pré-moldada) de um pavimento tipo de um edifício comercial para escritórios, pois, normalmente, eles apresentam grandes vãos com pouca ou nenhuma variação em suas dimensões e essas características se adequam ao objetivo do trabalho. Além disso, edifícios comerciais exigem maior rapidez de execução e por isso é mais provável que o construtor ou projetista eleja as vigas mistas como opção para este tipo de obras.

Escolheu-se então um pavimento com vãos de 10 m e distância de 3 m entre as vigas como está mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Pavimento tipo e suas dimensões (Autora (2017))



Fazendo-se uma analogia com as vigas T e L de concreto armado, onde as vigas T são vigas simétricas e as vigas L são assimétricas, em relação à geometria da seção, pode-se afirmar que no pavimento tipo selecionado existirão tanto vigas simétricas, V2 e V3, como vigas assimétricas, V1, V4, V5 e V6. No entanto, as últimas não serão dimensionadas à flexão oblíqua, pois, por analogia com as vigas de concreto armado, podemos admitir que caso “exista o impedimento à deformação horizontal (transversina ou laje horizontalmente indeslocável), garantindo que a deformação será vertical (e linha neutra, então, horizontal)” (SUSSEKIND (1980, p. 137), as vigas assimétricas serão dimensionadas da mesma forma das simétricas.

Para as lajes do tipo maciça e pré-moldadas considerou-se o método de construção escorada, pois não há a necessidade da realização de verificações do perfil metálico durante a fase de construção. Já para as lajes do tipo mista considerou-se o método de construção não-escorada, porque o catálogo técnico da Metform, empresa fabricante do steel-deck, fornece as informações necessárias para dimensionamento de vigas mistas com lajes mistas sem a necessidade de verificação do perfil metálico durante a fase de construção.

Optou-se por utilizar perfis metálicos soldados do tipo VS, porque são os mais utilizados em obras na região (Teresina-PI) e pela facilidade em se moldar os perfis com as dimensões especificadas. O aço utilizado para os perfis possui tensão de escoamento (f_y) igual a 250 MPa.

Utilizou-se também concreto com f_{ck} de 30 MPa ($\gamma_c = 25 \text{ kN/m}^3$) nas lajes e aço CA-50 para as armaduras. Quanto ao Steel Deck, optou-se por utilizar o modelo MF-50 da Metform por ser indicado para edificações urbanas tipo hotéis, hospitais, escritórios, edifícios, garagens, entre outros.

Os conectores de cisalhamento utilizados foram do tipo pino com cabeça, do fabricante Ciser, com 19 mm de diâmetro e que possuem uma resistência limite de ruptura de 450 MPa.

Tanto as lajes mistas quanto as lajes pré-moldadas foram consideradas com nervuras perpendiculares às vigas V1, V2, V3 e V4 e paralelas às vigas V5 e V6.

Além do peso próprio da estrutura, considerou-se uma carga de pavimento e revestimento, estimada em 1 kN/m^2 , e uma sobrecarga de utilização de 2 kN/m^2 , conforme recomendado pela NBR 6120: “Cargas para o cálculo de estruturas de edificações” para escritórios.

Não foram previstas paredes de alvenaria no interior das lajes, então foi considerada uma sobrecarga de 1 kN/m^2 referente ao peso de divisórias internas (de acordo com o item 2.1.2 da NBR

6120:1980). Já para fechamento do pavimento foram previstas paredes de alvenaria com carga de 2,43 kN/m².

Para as vigas V5 e V6 foram considerados apenas o peso próprio do perfil metálico, as reações de apoio das vigas V2 e V3 em cada caso considerado e o peso próprio da parede externa de alvenaria, considerando-se um pé direito de 3,2 m.

As combinações utilizadas estão de acordo com a NBR 8681: “Ações e segurança nas estruturas”. Logo, para a verificação dos estados limites últimos dos elementos utilizou-se a combinação última normal e para a verificação dos estados limites de serviço utilizou-se a combinação quase permanente de serviço.

Cargas horizontais, como ação do vento, por exemplo, não foram consideradas em nenhum dos casos, pois não se verificou a estabilidade global do edifício, apenas as vigas mistas são o objetivo do estudo.

As lajes maciças foram dimensionadas manualmente de acordo com o método clássico simplificado, considerando-se uma espessura de 10 cm, concreto com $f_{ck} = 30$ MPa e que o edifício estaria localizado em uma região de CAA II. As lajes mistas foram dimensionadas seguindo-se as especificações e orientações técnicas do Anexo Q da NBR 8800 (ABNT, 2008) e do catálogo técnico da Metform. Utilizou-se uma capa de concreto com 6 cm de altura acima da chapa de aço, totalizando uma altura de 11 cm de laje. Já para o dimensionamento das lajes pré-moldadas treliçadas utilizou-se o STG – Software de Treliças Gerdau e considerou-se enchimento de bloco cerâmico, capa de concreto de 5 cm, treliça do tipo TG8L e tela superior Q92.

As vigas mistas foram dimensionadas seguindo as determinações da NBR 8800 (ABNT, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os cálculos foram realizados com o uso de planilhas elaboradas no Excel e os resultados encontrados estão listados nas tabelas abaixo.

Nas vigas mistas onde só haviam cargas distribuídas, V1, V2, V3 e V4, primeiramente determinou-se o carregamento de cálculo através da combinação última normal e após utilizou-se as equações da estática para determinação dos esforços solicitantes de cálculo. Já nas vigas mistas que possuíam cargas concentradas, V5 e V6, primeiro calculou-se os esforços solicitantes para cada carga e após realizou-se a combinação desses esforços e só então obteve-se os esforços solicitantes de cálculo. Os resultados obtidos estão listados nas Tabelas 1 e 2.

Tabela 1. Valores dos momentos máximos de cálculo (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6
Laje maciça	355,63 kN.m	300,13 kN.m	529,13 kN.m
Laje mista	337,33 kN.m	325,66 kN.m	515,92 kN.m
Laje pré-moldada	339,82 kN.m	293,22 kN.m	510,16 kN.m

Tabela 2. Valores dos cortantes máximos de cálculo (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6
Laje maciça	142,25 kN	120,05 kN	187,64 kN
Laje mista	134,93 kN	130,27 kN	184,25 kN
Laje pré-moldada	135,93 kN	117,29 kN	181,32 kN

É possível perceber que para as vigas internas, V2 e V3, as vigas mistas com lajes mistas apresentaram os menores esforços solicitantes. Já para as outras vigas, V1, V4, V5 e V6, as vigas mistas com laje pré-moldada mostraram os menores valores.

Conhecidos então os esforços atuantes foi possível determinar qual perfil possuía a menor área de aço para satisfazer todas as condições do dimensionamento. Os perfis adotados estão listados na Tabela 3.

Como esperado, foram utilizados perfis metálicos mais robustos nas vigas laterais, pois essas vigas estavam em situações mais desfavoráveis de utilização.

Tabela 3. Perfis metálicos adotados no dimensionamento (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6	TOTAL
Laje maciça	VS 400 x 44	VS 450 x 51	VS 500 x 61	VS 400 x 44
Laje mista	VS 450 x 51	VS 450 x 51	VS 450 x 83	VS 450 x 51
Laje pré-moldada	VS 400 x 44	VS 400 x 44	VS 500 x 61	VS 400 x 44

Para as três situações de vigas mistas as lajes do tipo pré-moldadas apresentaram os menores perfis (perfis com menor área de aço) e as lajes mistas, os maiores perfis, mesmo para as vigas internas, nas quais elas tinham apresentado os menores valores para os esforços solicitantes atuantes. Isso ocorre porque, nas vigas internas as lajes mistas tiveram seu perfil limitado pela deformação no meio do vão, sendo necessária a utilização de um perfil com maior área de aço, mesmo que possuíssem valores baixos para os momentos atuantes. O aumento da área de aço causa uma redução na deformação por elevar o valor do momento de inércia da viga.

Os valores dos momentos e cortantes resistentes de cálculo para cada perfil foram determinados seguindo a NBR 8800 e estão demonstrados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 4. Valores dos momentos resistentes de cálculo (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6	TOTAL
Laje maciça	364,65 kN.m	433,37 kN.m	542,58 kN.m	364,65 kN.m
Laje mista	472,30 kN.m	446,57 kN.m	523,93 kN.m	472,30 kN.m
Laje pré-moldada	364,65 kN.m	346,80 kN.m	542,58 kN.m	364,65 kN.m

As vigas V2 e V3 são as vigas internas do pavimento e por esse motivo apresentam largura efetiva maior, pois possuem mesa colaborante de ambos os lados do perfil. Já as vigas V1, V4, V5 e V6 são vigas de extremidade e por isso só apresentam mesa colaborante em um dos lados (lado voltado para o interior do pavimento).

Exceto no caso das vigas mistas com laje maciça, utilizou-se o mesmo perfil nos dois primeiros pares de vigas (V2/V3 e V1/V4) e é possível perceber a influência da mesa colaborante na determinação do momento resistente. Tanto nas vigas mistas com laje mista quanto nas vigas mistas com laje pré-moldada, as vigas internas V2 e V3 apresentaram momento fletor maior do que se comparada com as vigas externas V1 e V4, pois as primeiras possuíam o dobro da largura efetiva das últimas.

Apesar das vigas mistas com laje mista apresentarem os perfis mais robustos para as vigas V5 e V6 elas apresentaram o menor momento resistente porque a LN ficou localizada no perfil metálico, enquanto que para os outros tipos de laje ficou localizada na própria laje.

Tabela 5. Valores dos cortantes resistentes de cálculo (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6	TOTAL
Laje maciça	224,72 kN	386,59 kN	391,41 kN	224,72 kN
Laje mista	386,59 kN	386,59 kN	386,59 kN	386,59 kN
Laje pré-moldada	224,72 kN	224,72 kN	391,41 kN	224,72 kN

Em alguns casos as vigas foram classificadas como compactas e em outros como semicompactas. Nas situações em que se utilizou o mesmo perfil, obteve-se o mesmo esforço cortante resistente, que depende da esbelteza, classificação e área da alma do perfil.

Nas vigas V2, V3, V5 e V6 de vigas mistas com laje maciça e V1, V2, V3 e V4 de vigas mistas com laje pré-moldada o perfil metálico foi classificado como semicompacto. Em todos os outros casos, como compacto.

Diante dos resultados é possível perceber que em nenhum dos casos o cortante foi o limitante, pois os cortantes resistentes apresentados são cerca de duas a três vezes maiores do que os cortantes de cálculo apresentados no item anterior.

Multiplicando-se o peso próprio da viga por metro linear pelo comprimento do vão obteve-se o consumo de aço, em quilogramas, para as vigas metálicas em cada uma das situações e os resultados estão listados na Tabela 6.

Tabela 6. Consumo de aço (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6	TOTAL
Laje maciça	880 kg	1024 kg	1099,8 kg	3003,8 kg
Laje mista	1024 kg	1024 kg	1501,2 kg	3549,2 kg
Laje pré-moldada	880 kg	880 kg	1099,8 kg	2859,8 kg

As vigas mistas com lajes mistas apresentaram os perfis mais robustos, resultando no consumo de aço, cerca de 20% maior do que no caso de utilização de lajes pré-moldadas. Nas vigas laterais (V5 e V6), para todas as opções de lajes, o consumo de aço foi maior do que para as outras (V1, V2, V3 e V4), pois as primeiras se encontravam em situações mais desfavoráveis de utilização (cargas concentradas).

Calculou-se também o consumo de concreto, material que apresenta participação significativa no custo da estrutura. No caso da laje maciça multiplicou-se a sua altura pela área, logo, para uma laje de 10 cm de espessura encontra-se um consumo de 0,1 m³/m². O consumo de concreto para as lajes mistas foi retirado do catálogo técnico da fabricante Metform para lajes com altura total de 110mm. Já para as lajes pré-moldadas, o valor do consumo do concreto considera tanto o concreto utilizado para a fabricação das vigotas, obtido através do orçamento gerado no software STF – Software de Treliças Gerda, quanto o valor referente à execução da capa de concreto com espessura de 5 cm. Os resultados obtidos estão listados na Tabela 7.

Tabela 7. Consumo de concreto (Autora, 2017)

Tipo de laje	Consumo de concreto
Laje maciça	0,100 m ³ /m ²
Laje mista	0,085 m ³ /m ²
Laje pré-moldada	0,059 m ³ /m ²

Calculou-se, para cada opção de laje, a área mínima e necessária da armadura de costura e adotou-se o maior entre os dois valores calculado, desde que satisfizesse os limites mínimos estabelecidos em norma.

É importante destacar que as lajes maciças já possuirão armadura negativa, que irá desenvolver o mesmo papel da armadura de costura, absorver o esforço cisalhante na região próxima ao perfil metálico. Adotou-se o valor encontrado para armadura negativa como sendo a área da armadura de costura, pois era superior ao necessário e ao mínimo estabelecido em norma.

Independente da opção de laje consideradas as vigas V5 e V6 foram as que apresentaram a maior área de aço para armadura de costura. Isso se deve ao fato da presença de cargas concentradas, que, como já mencionado anteriormente, colocam essas vigas em uma situação desfavorável de utilização.

Nos casos das vigas mistas V1, V2, V3 e V4 com lajes mistas, a forma de aço incorporada à laje já seria suficiente para resistir ao cisalhamento que aparece na região, então, adotou-se apenas a área de aço mínima. Por este motivo as vigas mistas com laje mista foram as que apresentaram a menor área de aço para armadura de costura. Os valores adotados para armadura de costura em cada um dos casos estão listados na Tabela 8.

Tabela 8. Área de aço adotada para armadura de costura (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6
Laje maciça	2,97 cm ² /m	2,97 cm ² /m	2,97 cm ² /m
Laje mista	1,50 cm ² /m	1,50 cm ² /m	1,94 cm ² /m
Laje pré-moldada	1,93 cm ² /m	1,93 cm ² /m	3,52 cm ² /m

A quantidade de conectores foi calculada dividindo-se o comprimento da viga pelo espaçamento adotado entre os conectores, sempre valores múltiplos de 2,5 cm e menores do que o espaçamento necessário calculado. Os resultados obtidos estão listados na Tabela 9.

Tabela 9. Quantidade de conectores de cisalhamento (Autora, 2017)

Tipo de laje	V2 e V3	V1 e V4	V5 e V6	TOTAL
Laje maciça	28 conectores	32 conectores	36 conectores	96 conectores
Laje mista	66 conectores	66 conectores	30 conectores	162 conectores
Laje pré-moldada	28 conectores	28 conectores	36 conectores	88 conectores

A quantidade de conectores para as vigas mistas V1, V2, V3 e V4 com laje mista foi bem maior do que as outras situações, porque considerou-se 2 conectores por nervura para que o diâmetro máximo do conector estabelecido na NBR 8800, de 19mm, fosse satisfeito.

CONCLUSÃO

O presente trabalho buscou comparar vigas mistas utilizando três opções de lajes (maciça, mista e pré-moldada treliçada) quanto ao consumo de materiais e o fez a partir do dimensionamento de um pavimento tipo de um edifício comercial, com planta baixa elaborada pela autora, para cada tipo de laje considerado e tal objetivo foi alcançado.

Os resultados obtidos mostraram que as vigas mistas com lajes pré-moldadas são as mais econômicas quanto ao consumo de aço para o perfil metálico, consumo de concreto e quantidade de conectores, perdendo apenas no consumo de aço para armadura de costura para as vigas mistas com lajes mistas, pois nestas a forma de aço incorporada absorve o esforço de cisalhamento.

Desta forma conclui-se que, quanto ao consumo dos principais de materiais utilizados, as vigas mistas com laje pré-moldada treliçada são mais econômicas do que vigas mistas com lajes maciças ou lajes mistas steel deck.

Também se verificou que as vigas V5 e V6, que apresentam cargas concentradas, foram as que necessitaram dos perfis metálicos mais robustos, além de maior consumo de armadura de costura e de conectores, exceto no caso de lajes mistas, pois, como comentado, considerou-se dois conectores por nervuras para as vigas V1, V2, V3 e V4, o que elevou bastante o número de conectores utilizados nessas situações.

REFERÊNCIAS

- ALVA, G. M. S.; MALITE, M. Comportamento estrutural e dimensionamento de elementos mistos aço-concreto. Caderno de Engenharia de Estruturas. São Carlos, v.7, n. 25, p. 51-84, 2005.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações. Rio de Janeiro, 1980.
- _____. NBR 8681 – Ações e segurança nas estruturas - Procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- _____. NBR 8800 – Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro, 2008.
- _____. NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos. Rio de Janeiro, 2014.
- FABRIZZI, M. A. Contribuição para o projeto e dimensionamento de edifícios de múltiplos andares com elementos estruturais mistos de aço-concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). 233 f. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos 2007.
- FUZHARA, M. A. L. S. Ligações e armaduras de lajes em vigas mistas de aço e concreto. Dissertação (Mestrado em Engenharia). 165 f. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- MALITE, M. Sobre o cálculo de vigas mista aço-concreto: ênfase em edifícios. 144 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1990.
- METFORM. Produtos e Serviços. Telha-fôrma. Catálogo Técnico. Disponível em http://www.metform.com.br/wordpress/wp-content/uploads/2015/05/steel_deck_metform.pdf. Acesso em: 01 de maio de 2018.
- PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de aço: dimensionamento prático, Rio de Janeiro: LTC, 2009.
- SOUZA, R. L. Influência do tipo de laje no dimensionamento de vigas mistas. Feira de Santana, 2011. 132 f. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Universidade Estadual de Feira de Santana, 2011.
- SUSSEKIND, J. C. Curso de Concreto – Volume 1: Concreto armado, Porto Alegre: Editora Globo, 1980.