

COLETÂNEA HABITARE

João Eduardo Di Pietro é engenheiro civil (1980), mestre (1993) e doutor (2000) pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor do Departamento de Arquitetura e Urbanismo da UFSC. Atua nas áreas de Estruturas de Concreto, Construção Civil e Sistemas Construtivos.
E-mail: dipietro@arq.ufsc.br

5.

Projeto e execução de lajes pré-moldadas com vigotas de concreto armado: sugestões para elaboração de uma norma específica para lajes pré-fabricadas

João Eduardo Di Pietro

Resumo

Considerando-se a necessidade de uma discussão a respeito de uma norma específica para lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado intercaladas com blocos de cerâmica e com uma cobertura de concreto, a fim de padronizar a forma das vigotas e sua taxa de armadura bem como melhorar a qualidade do produto, conferindo-lhe todas as condições de segurança estrutural, foram apresentadas sugestões que poderiam servir de subsídios para a elaboração de tal norma.

Essas sugestões dizem respeito, principalmente, ao dimensionamento das vigotas e aos critérios que devem ser observados na sua fabricação e aplicação nas edificações.

69

1 Introdução

A falta de uma norma específica para lajes pré-fabricadas – considere-se não somente as lajes com vigotas de concreto armado, pois são as mais empregadas em

todo o território nacional, mas todas de um modo geral – tem causado grandes transtornos não só aos projetistas de estruturas mas também aos fabricantes, pela falta de critérios para seu dimensionamento, fabricação e aplicação em obra. Com base nesse objetivo foram apresentadas algumas sugestões que poderiam servir de subsídios à elaboração dessa norma.

Todo projeto de uma edificação deve, obrigatoriamente, cumprir os objetivos a que se destina. Em função disso, as lajes possuem características importantes, que devem ser valorizadas para garantir uma perfeita adequação ao projeto.

Essas missões não são unicamente separar os pavimentos e absorver as cargas impostas às lajes, mas também promover com essas ações um isolamento de origem térmica e acústica à umidade e de resistência ao fogo.

A escolha de uma laje deve levar em consideração todos esses fatores, para que se obtenha um projeto realmente adequado ao que se propõe, isto é, deve-se cumprir as exigências da norma quanto à segurança e proporcionar as condições de conforto necessárias a toda edificação.

As lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado, amplamente empregadas em todas as regiões do país, constituem, como um componente construtivo, importante decisão em termos de projeto, que pode representar sensíveis resultados no custo e no desempenho da edificação.

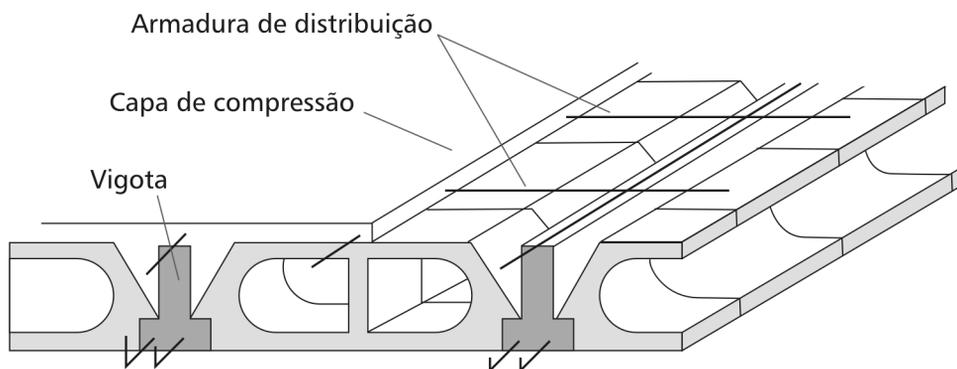


Figura 1 – Laje pré-fabricada

2 Objetivos

Verificar (1) o desempenho estrutural das lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado, (2) a validade das hipóteses de cálculo e (3) os resultados de seu dimensionamento, através de ensaios experimentais, a fim de obter subsídios à elaboração de uma norma.

3 Metodologia

Os ensaios sobre flexão foram efetuados em protótipos de lajes com largura de 1,11 m, utilizando-se quatro vigotas com intereixo de 34 cm e comprimentos de 3,30 m e 4,20 m. O capeamento, com 3 cm de espessura, incorpora uma armadura de distribuição de tensões de 0,6 cm²/m (ϕ 4,2 c/23), disposta no sentido transversal das vigotas e, no sentido paralelo, ϕ 3,4 mm a cada 34 cm.

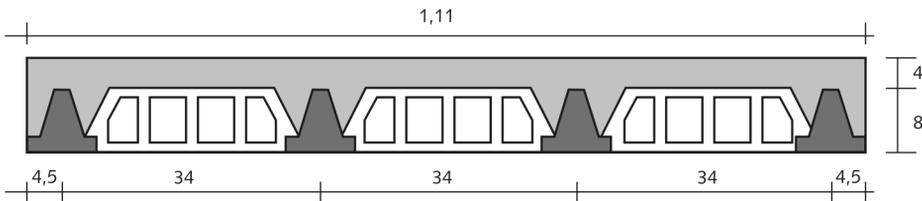


Figura 2 – Seção do protótipo da laje pré-fabricada

Essas lajes, apoiadas livremente em suas extremidades, foram submetidas a um carregamento gradativo, aplicado a uma distância dos apoios igual a 1/3 do vão e distribuído por toda a extensão de sua largura. Durante o ensaio, foram medidos os deslocamentos verticais (flechas) e foi avaliado o efeito da fissuração.

4 Resultados dos ensaios

Os ensaios experimentais com esse tipo de laje pré-fabricada, dimensionada por faixa de vigota, isto é, considerando-as como vigas de seção “T” ($b_f =$ intereixo), resultante da integração da nervura com o capeamento, levaram à conclusão de que as deformações reais são menores que as teóricas, para um carregamento que comporta até 1,3 vezes a carga acidental. As deformações reais começam a ser maiores que as teóricas quando esse limite é ultrapassado.

Tal fenômeno é causado pelo fato de que, no início, existe um comportamento uniforme entre as vigotas e o concreto adicionado para execução do capeamento.

Inicialmente, o Momento de Inércia (I) da seção “T” mantém-se constante, mas, próximo à ruptura, inicia-se o descolamento da vigota com o concreto do capeamento, o que provoca sua minoração e aumenta sensivelmente as deformações.

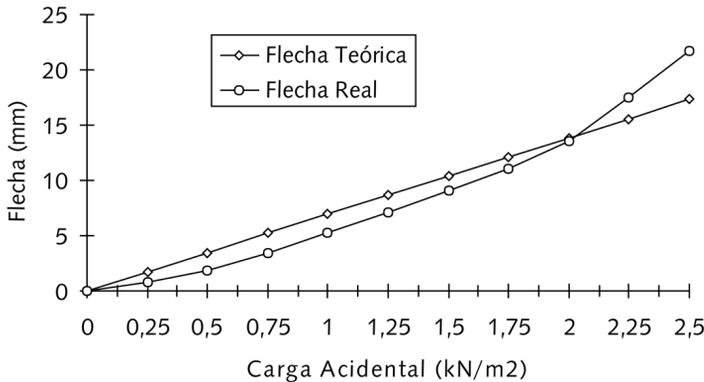


Figura 3 – Gráfico das deformações

5 Conclusão

O comportamento dessas lajes, com a atuação das cargas normais de serviço, é semelhante ao das de seção maciça, armadas numa única direção e, ao aproximar-se da ruptura, como nervurada.

Outro fenômeno observado é o “Efeito de Arco”, que surge no capeamento, entre as vigotas, provocando esforços horizontais (empuxo) sobre elas, fazendo com que os blocos cerâmicos sejam prescindíveis para o funcionamento dessas lajes.

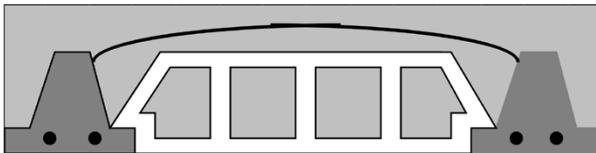


Figura 4 – Efeito de arco

Por esse motivo, a forma dos blocos cerâmicos deveria ser modificada, com o arredondamento dos cantos superiores, a fim de propiciar uma redução do raio de

curvatura do arco, diminuindo com isso os esforços horizontais e melhorando, conseqüentemente, o seu funcionamento.

Um dos fatores prejudiciais ao desempenho estrutural dessas lajes é a falta de monolitismo, isto é, a perfeita união entre as vigotas e o concreto adicionado em obra para o capeamento. Apesar de todos os cuidados empregados na concretagem, essa união nem sempre é possível, devido à falta de rugosidade nas faces da vigota, surgindo, assim, uma espécie de diafragma nessa interface.

Como sugestão, recomenda-se a execução das vigotas com grampos de ϕ 3,4 mm na sua parte superior, ancorados na armadura longitudinal da vigota e espaçados a cada 23 cm, de modo a possibilitar a passagem da armadura de ϕ 4,2 mm.

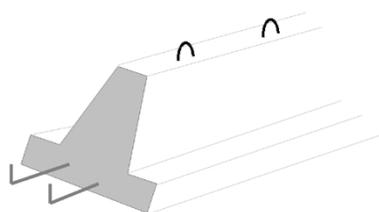


Figura 5 – Modelo da vigota

Dessa maneira, garante-se uma relativa aderência entre as vigotas e o concreto adicionado em obra para execução do capeamento.

6 Elementos para discussão de uma futura norma

6.1 Generalidades

As lajes pré-fabricadas com vigotas de concreto armado, intercaladas com blocos cerâmicos vazados, elementos de concreto celular ou EPS (isopor), para conferir uma superfície plana e diminuir seu peso próprio, deverão estar subordinadas à NB-1 (NBR 6118:1982) e ser consideradas como lajes nervuradas unidirecionais, isto é, armadas numa única direção.

6.2 Geometria

As vigotas em forma de “I” invertido deverão ter dimensões padronizadas, devendo a sua altura ser maior ou igual a 8 cm ($h \geq 8$ cm). Os blocos cerâmicos terão também suas dimensões padronizadas, com alturas de 7, 8, 10 e 12 cm, e largura suficiente para permitir um intereixo que não deverá ser superior a 50 cm ($t \leq 50$ cm).

O capeamento, moldado no local da obra, deverá ser uniforme e ter espessura mínima de 4 cm, para lajes de piso, a fim de absorver os esforços de compressão oriundos da flexão. Para lajes de forro, permite-se um capeamento de 3 cm.

6.3 Materiais constituintes das lajes

O concreto para confecção das vigotas e para o capeamento deverá ter um $f_{ck} \geq 20$ MPa. O aço das vigotas deverá ser o CA 60, considerando-se um Coeficiente de Conformação Superficial igual a 1,0 ($\eta_b = 1$), pois esse tipo de aço possui superfície lisa devido ao processo de trefilação empregado na sua usinagem. A recomendação para o uso dos fios CA-60 deve-se ao fato de que estes podem ser adquiridos em rolo, minimizando as perdas. Eventualmente, a hipótese de se utilizar o aço CA-50 não fica descartada.

6.4 Dimensionamento das vigotas

Seguirá rigorosamente as prescrições da NB-1 (NBR 6118:1982), devendo ser observado que, para obtenção dos Momentos Fletores Positivos, os cálculos deverão ser efetuados como viga biapoiada de seção “T”, resultante da integração da nervura com o capeamento. A mesa (b_p) deverá ser tomada com largura igual ao entreixo (distância entre vigotas, de eixo a eixo).

6.5 Verificações

6.5.1 Cisalhamento

A verificação do Esforço Cortante se faz de acordo com o anexo à norma NB 116:1989, que modifica dispositivos da NB-1.

6.5.2 Fissuração

A caracterização da abertura de fissura, que é prejudicial à durabilidade, é, logicamente, função do meio. Dessa forma, o estudo da fissuração tem de ser efetuado em duas etapas distintas, a saber:

1. estabelecimento dos valores máximos admissíveis das aberturas das fissuras em função do meio; e
2. estabelecimento de formulação que permita estimar a abertura provável das fissuras em função das características das peças.

De acordo com as prescrições da NB-1, em seu item 4.2.2, aparecem duas expressões que pretendem estimar a abertura provável das fissuras. A primeira origi-

na-se da Teoria Básica da Fissuração, que aprecia a Formação Sistemática de Fissuras, e a segunda expressão, resultante da Teoria da Dupla Ancoragem, corresponde à Formação Não Sistemática de Fissuras.

A abertura máxima (w) permitida por norma é de 0,3 mm, visto que essas lajes, por suas características, devem ser protegidas com revestimento e não podem ser aplicadas em meio agressivo. Faz-se necessário, portanto, que as desigualdades abaixo sejam satisfeitas.

$$w = \frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \left(\frac{4}{\rho_r} + 45 \right) \leq 3$$

$$w = \frac{\phi}{2\eta_b - 0,75} \cdot \frac{\sigma_s}{E_s} \cdot \frac{3\sigma_s}{f_{tk}} \leq 3$$

Por norma, o coeficiente de conformidade η_b para barras lisas é considerado igual a 1. No entanto, pode-se reduzir esse valor em 20% considerando o tipo de aço (CA 60) como desprovido de qualquer rugosidade ($\eta_b = 0,8$).

5.5.3. Deformação vertical (flecha)

A deformação dessas lajes não poderá ultrapassar 1/300 do vão teórico (item 4.2.3 – NB-1) e deverá ser verificada nas condições menos favoráveis, isto é, como biapoiadas (isostáticas), proporcionando, assim, mais condições de segurança.

Para essas lajes, é conveniente a aplicação de uma contraflecha, que deverá ser 1/200 do vão teórico, para lajes com vão superior a 1,80 m.

6.6 Disposições construtivas

Na direção perpendicular às nervuras, será obrigatória a colocação de armadura complementar de distribuição de tensões e travamento das vigotas, posicionada na mesa de compressão sobre as vigotas, com área da seção transversal igual ou superior a 0,6 cm² por metro de laje e composta de pelo menos três barras (item 4.1.3.2 – NB 4:1980).

7 Recomendações

Na construção de edifícios de grande porte ou sujeitos à verificação da ação de vento, são requeridas disposições estruturais para combater o efeito do vento. Em alguns casos, as lajes podem ser desprezadas, considerando-se apenas o Efeito de

Pórtico dos pilares e das vigas. Portanto, há a possibilidade de se adotarem lajes pré-fabricadas, desde que sejam observadas as prescrições normativas de combate à ação do vento.

O emprego dessas lajes não é permitido nas edificações industriais ou comerciais, as quais poderão exigir vãos maiores e sobrecargas não compatíveis com a sua utilização, visto que tais edificações dependem diretamente da natureza e magnitude das cargas aplicadas e do vão a ser vencido.

Não é admissível também, para essas lajes, a ação predominante de cargas concentradas ou de cargas dinâmicas, de choque ou vibração, por mais elevada que seja a sua capacidade resistente. Para esses casos, os estudos serão efetuados por verificação experimental.

8 Considerações finais

A publicação de artigos em revistas especializadas (Associação dos Fabricantes de Lajes do Estado de São Paulo – AFALA), de apresentações de trabalhos em congressos, seminários e simpósios a respeito de lajes pré-fabricadas (ENTAC, ENEGEP, SIBRAGEQ e IBRACON) e ainda os contatos realizados junto ao COBRACON, à ABNT e à própria FINEP proporcionaram a criação, pelo COBRACON, de uma comissão com origem no Comitê Brasileiro da Construção (CB-02) para elaboração das normas específicas para lajes pré-fabricadas: CE-02:107.01. Essa comissão já encerrou os trabalhos, elaborando os seguintes projetos de norma:

- Projeto 02:107.01-001 - Lajes Pré-fabricadas – Especificação;
- Projeto 02:107.01-002 - Lajes Pré-fabricadas – Pré-laje Treliçada;
- Projeto 02:107.01-003 – Lajes Pré-fabricadas – Laje Tipo Painel Alveolar de Concreto Protendido; e
- Projeto 02:107.01-004 – Requisitos para Armações Treliçadas – Especificação.

Com o financiamento da FINEP foi possível a montagem do Laboratório de Estruturas do Departamento de Arquitetura da Universidade Federal de Santa Catarina com a aquisição de todos os equipamentos necessários ao seu funcionamento. Esse laboratório faz parte do Laboratório de Sistemas Construtivos (LabSisCo).

Bibliografia

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto e execução de obras de concreto armado. Rio de Janeiro, NB-1, 1982.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7197**: projeto de estruturas de concreto protendido. Rio de Janeiro, NB-116, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6119**: cálculo e execução de lajes mistas. Rio de Janeiro, NB-4, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9062**: projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado. Rio de Janeiro, NB-949, 1985.

COMITÉ EURO-INTERNATIONAL DU BÉTON, 1978, Paris. **Code modele CEP-FIP, Pour les structures en Béton**. Paris, 1978.

DI PIETRO, João Eduardo. **Projeto, execução e produção de lajes com vigotas pré-fabricadas de concreto armado**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1993.

ESPAÑA. Ministério de Obras Públicas e Urbanismo. **Forjados, vigas y placas**. Espanha, 1990. (Normas).

NORME technique per il progetto delle strutture in cemento armato normale e precompresso. Itália: Gazzetta Officiale, 1986. Norma italiana.

UNION EUROPÉENNE POUR L'AGRÉMENT TECHNIQUE DANS LA CONSTRUCTION. **Directivas comuns para a homologação de pavimentos não tradicionais de betão armado ou pré-esforçado**. Portugal: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1982.