

## Como Construir - Lajes alveolares

### Detalhes construtivos da execução de estruturas com lajes pré-moldadas alveolares

Redação: Gisele Cichinelli

Edição 221 - Agosto/2015

Rapidez de construção, ausência de escoramento, diversidade de tipos e uso racional de mão de obra e de materiais são algumas das vantagens associadas ao sistema de lajes alveolares pré-moldadas de concreto. Conformadas a partir de alvéolos - vazios longitudinais que permitem reduzir o peso final da peça - podem ser usadas em estruturas pré-moldadas de concreto ou combinadas a outros sistemas, como estruturas metálicas ou de concreto moldado no local.

O mercado oferece grande variedade de sistemas estruturais de pisos pré-fabricados (veja tabela 1). A escolha do produto a ser utilizado, no entanto, deve considerar o tipo de construção, os requisitos de desempenho estrutural e as condições de transporte e a localização da obra, além das facilidades de montagem (tecnologia, equipamentos disponíveis, custos e capacitação dos serviços e mão de obra) e disponibilidade do produto no mercado local.

Por conta das suas características e por sua versatilidade, estão entre os sistemas pré-fabricados mais utilizados no mundo, especialmente na Europa e no Brasil.

Historicamente, o conceito de lajes alveolares está associado ao desenvolvimento dos sistemas de protensão na Alemanha desde meados dos anos 1930. Entretanto, a disseminação de fato ocorreu no início dos anos 1970 com o acentuado desenvolvimento da indústria de equipamentos de moldagem e extrusão, sobretudo em países como a Alemanha, Itália e Finlândia, e também nos Estados Unidos.

No Brasil, o sistema começou a ser produzido em 1974 e tornou-se popular na década de 1980, substituindo especialmente as lajes e painéis duplo TT. A alta produtividade, tanto em fábrica quanto durante a montagem, e o início de produção de equipamentos no País foram responsáveis por esse desenvolvimento (figura 1).

Diversas obras recentes no Brasil podem ser citadas quanto à adoção de lajes alveolares, presentes em praticamente todas as soluções de estruturas pré-moldadas, tais como os aeroportos de Guarulhos (SP), Brasília e Galeão (RJ), o estádio Arena Corinthians (figura 2), os shoppings Center Tietê Plaza (SP), Iguatemi (RS), além do edifício-sede da Odebrecht, em São Paulo, e o prédio de estacionamentos do novo Campus da Unisinos (RS).



Figura 1 - Seção típica da laje alveolar, com capa estrutural. Peça sendo submetida a ensaios de flexão e cisalhamento dentro da indústria para trabalhos de pesquisa e desenvolvimento



Figura 2 - Lajes alveolares foram utilizadas no prédio Oeste da Arena Corinthians

## Aplicações

O sistema não se restringe às aplicações mais convencionais - como edificações comerciais e industriais (galpões e shopping centers) de pequena e média altura - mas também pode ser aplicado em obras com maior número de pavimentos, incluindo edifícios altos. No Brasil, registra-se o uso de lajes alveolares em edifícios de até 25 pavimentos, mas na Europa o sistema está presente em edifícios com 67 pavimentos, aproximadamente, caso da Torre de Cristal, em Madri (*figura 3*), e com 47 pavimentos em estrutura integralmente pré-fabricada com núcleo rígido em edifícios altos da Bélgica.

Nos últimos anos, para viabilizar prazos reduzidos e driblar a escassez de mão de obra especializada nos canteiros, a presença de guindastes com maior capacidade de carga e alcance nas obras brasileiras tem se tornado mais corriqueira, contribuindo para o emprego das lajes alveolares, inclusive em edificações com múltiplos pavimentos, estádios e outras obras especiais.

Por permitir a associação com instalações de eficiência energética, é particularmente indicada em edificações que almejam selos de sustentabilidade, podendo ser utilizada de forma associada a sistemas de instalações embutidas de ventilação para minimizar os custos com ar-condicionado, por exemplo. Dessa forma, aproveita-se dos vazios existentes nos alvéolos para passagem das tubulações, eliminando aberturas posteriores como usualmente se faz nos sistemas convencionais.

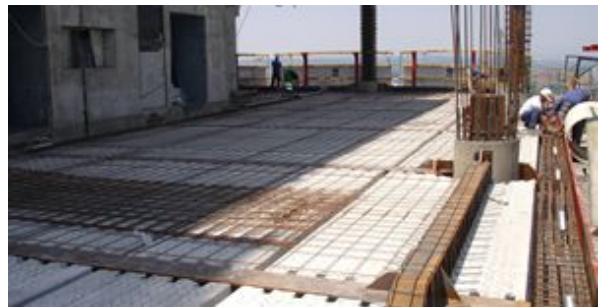
Devido à sua grande versatilidade, podem ser usadas em projetos de shafts e passagens de qualquer tipo, sem necessidade de inclusão de novas vigas ou pilares na estrutura. Além desses pontos de passagem, o sistema de lajes alveolares permite que sejam feitos recortes para passagem de tubulações e também para a criação de shafts menores, previamente projetados e executados em fábrica logo após a passagem da máquina (manualmente ou por "aspiradores" de concreto guiados a laser), garantindo precisão dimensional e bom acabamento nas regiões suprimidas (*figura 4*).

## Especificações

As lajes alveolares são usualmente classificadas em função de sua altura. De forma geral, quanto maior a altura, maior a capacidade da laje alveolar de suportar um mesmo carregamento em vãos maiores. Dados como as propriedades da seção transversal, vãos e carregamentos admissíveis são fornecidos pelos fabricantes em seus catálogos.

Vale observar que a escolha da solução dependerá de um estudo de viabilidade que leve em conta diversos fatores, especialmente a logística. O terreno deve apresentar as condições de montagem e movimentação dos equipamentos que serão utilizados, bem como os acessos que posteriormente integrarão o planejamento de montagem.

A laje alveolar é muito competitiva para o emprego em obras com vãos de até 20 m. Em geral, adotam-se espessuras de 12 cm a 50 cm e vãos entre 6 m e 16 m.



**Figura 3** - Montagem de lajes alveolares em composição com estrutura metálica no Edifício Torre de Cristal, em Madri, na Espanha



**Figura 4** - As lajes alveolares permitem a passagem de shafts e instalações sem que seja necessário fazer cortes na estrutura já pronta. A figura mostra recortes e aberturas possíveis de serem executados nas lajes alveolares de acordo com o projeto



**Figura 5** - Planta de produção de lajes alveolares protendidas

Devido à importância da estabilidade em todas as suas fases (não somente após a finalização), é fundamental que o projeto estrutural preveja detalhes sobre a montagem, bem como a aplicação de uma tela de aço para a redistribuição das cargas aos painéis de lajes vizinhos.

Também deve trazer informações sobre a execução do capeamento da laje, quando necessário. A capa de concreto de 5 cm deve ser moldada no local e aplicada sobre a superfície formada pelas lajes alveolares. Esse elemento garante a formação de uma seção composta (formada pela capa, lajes e demais elementos), aumentando a capacidade estrutural da peça. Vale observar que a NBR 14.861:2011 - Lajes Alveolares Pré-moldadas de Concreto Protendido - Requisitos e Procedimentos admite o uso ou não da capa, conforme definição.

Todos os cuidados com o capeamento - desde o projeto da capa estrutural até a cura do concreto da capa, bem como detalhes de interface com as etapas de montagem da laje e interface com outros sistemas - estão estabelecidos na seção 9 da NBR 14.861, que trata do tópico Capa Estrutural.










### **Cuidados extras**

Embora sejam, em sua forma mais comum de utilização, caracterizadas como elementos lineares biapoiados, as lajes alveolares utilizam ligações semirrígidas em suas extremidades, o que confere um efeito de continuidade aos panos de laje e permite que o pavimento se transforme em um diafragma rígido, melhorando muito a distribuição dos momentos e esforços para toda a estrutura. Este modelo é particularmente utilizado quando as lajes alveolares são aplicadas em edificações de múltiplos pavimentos, aumentando a rigidez global da estrutura.

Pequenos balanços também podem ser executados com lajes alveolares. Neste caso, além da necessidade de protensão superior e de isolamento de alguns cabos inferiores, a posição do balanço deve ser muito bem especificada em projeto e na peça produzida para que não haja a inversão desta durante a montagem.

Quando aplicadas em conjunto com estruturas metálicas, geralmente utilizam-se conectores do tipo "stud-bolts" para a solidarização das lajes com a viga metálica. Com esta ligação, pode-se dimensionar o perfil metálico utilizando o maciço de concreto aderido ao perfil como área comprimida, reduzindo consideravelmente o peso da viga de apoio.

**Tabela 1 - CARACTERÍSTICAS DOS ELEMENTOS DE LAJE SEGUNDO A FÉDÉRATION DE L'INDUSTRIE DU BÉTON (ADAPTADO DE DEBS, 2000)**

Tipo de elemento	Tipo de edifício	Vão máximo (m)	Altura (mm)	Larguras mais comuns (mm)	Peso por unidade de área (kN/m <sup>2</sup> )
 Lajes alveolares não protendidas	C/H	≤ 9	100-300	300-2400	2,1-4,0
 Lajes alveolares protendidas	C/E/H/I	≤ 20	100-500	1.200 -1.250	2,0-4,8
 Lajes/painéis TT ou w	C/E/I	≤ 24 (30)	200-800	1.200-2.400	2,1-5,0
 Elementos de seção T	C/E/I	≤ 30	600-1200	1.500-5.000	3,0-3,6
 Elementos de seção U	C/I	≤ 9	150-300	600	1,45-3,5
 Elementos de seção U invertido	C/E/I	≤ 20	200-700	1.200	1,75-6,9
 Elementos de pré-laje	C/H	≤ 7,2	100-200	600-2.400	2,4-4,8
 Lajes/painéis w ou TT invertidos	C/H	≤ 9	150-350	600-2.400	1,0-3,0
 Laje com nervuras pré-moldadas	H	≤ 7,2	200-300	-	1,8-2,4

Legenda: C = Comercial; E = Estacionamento; H = Habitacional; I = Industrial

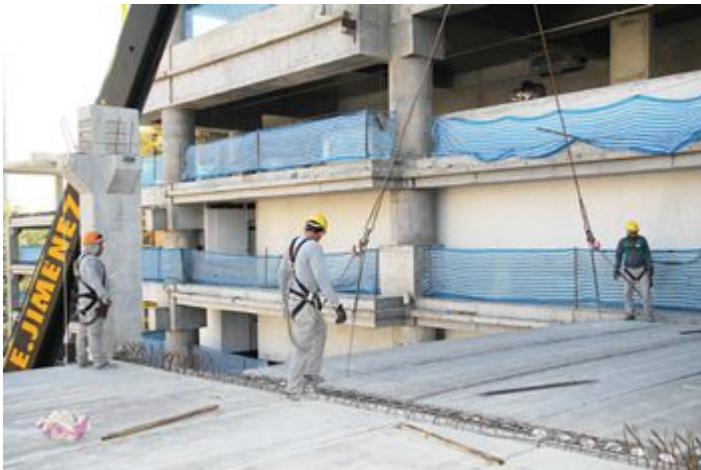
## Produção

No Brasil, as lajes alveolares são produzidas com aço especial para protensão em pistas contínuas, com largura padrão fixa de 1,20 m ou 1,25 m (dependendo do equipamento utilizado para produção) e espessuras que variam de 12 cm a 50 cm (definida segundo a sobrecarga e vãos de cada projeto).

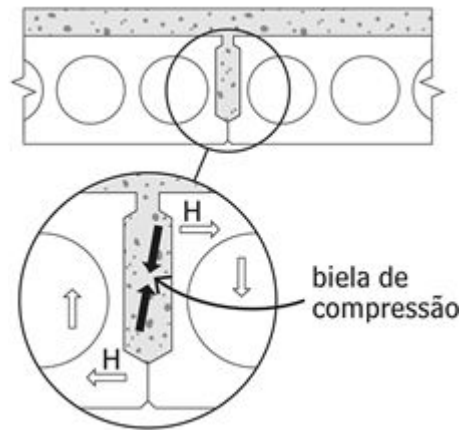




**Figuras 6 e 7** - Para estruturas mais baixas, o içamento das peças pode ser feito por guindastes ou caminhão munkk



**Figura 8** - Variável conforme comprimento das lajes e altura de içamento, produtividade de montagem de lajes alveolares pode chegar aos 500 m<sup>2</sup> diárias no caso de shopping centers, por exemplo



**Figura 9** - Chave de cisalhamento (juntas longitudinais), é chamado dessa forma pelo formato em chave na seção transversal

São confeccionadas em fôrmas fixas, compostas por fôrmas laterais e tubos de aço ou tubos infláveis em PVC para a formação dos alvéolos, ou com equipamentos (extrusão ou moldadoras). A produção utiliza concreto de alto desempenho, pois para a protensão a resistência mínima fixada por norma é de 21,0 MPa. No ciclo atual de produção das indústrias, podem ser liberadas entre 16 horas e 24 horas, atingindo, na maioria dos casos, 50 MPa aos 28 dias.

A produção é contínua ao longo da pista (numa velocidade que pode variar de 1,5 m a 4 m por minuto, dependendo da tecnologia utilizada) e as peças são cortadas com equipamentos dotados de serras diamantadas após a liberação da protensão, no tamanho indicado em projeto em função do vão, podendo chegar a até 20 m, dependendo da espessura da laje adotada (figura 5).

Outra tecnologia empregada na execução em pista de lajes alveolares chama-se "wet-cast". Utilizando um concreto com maior teor de argamassa e, portanto, consumo ligeiramente maior de cimento, as máquinas tipo wet-cast permitem a produção de elementos estruturais contínuos com geometrias aleatórias, dependendo somente da troca do "chassi" da máquina. Elementos estruturais tais como arquibancadas baseadas em lajes alveolares e até vigas de seção contínua são produzidos com muita facilidade nesse tipo de equipamento.

Em todas as fases do processo produtivo são feitas inspeções da qualidade, desde a conferência dos materiais usados, passando pelo controle tecnológico do concreto e a inspeção das tolerâncias dimensionais, conforme estabelecidas na NBR 14.861. Instruções específicas também estão indicadas na referida norma em relação à verificação dos limites de escorregamento de cordoalhas.

### Equipamentos e equipes de montagem

Peças de menor comprimento a serem utilizadas em estruturas de um único pavimento podem ser içadas com caminhão munck. Já o içamento de peças maiores em estruturas de múltiplos pavimentos deve ser feito com guias ou guindastes.

A capacidade de carga e movimentação dos equipamentos deve ser definida no planejamento de montagem, levando em conta o tamanho e peso dos elementos definidos em projeto. Além dos operadores dos equipamentos de içamento, cada equipe de montagem deve contar com dois montadores e um auxiliar. Vale lembrar que os profissionais devem ser habilitados e qualificados para executar a montagem, bem como a manutenção dos equipamentos e dos dispositivos de içamento, como balancins e cabos de aço, que devem ser inspecionados previamente (*figuras 6 e 7*).

A produtividade média de montagem varia de acordo com o comprimento das lajes e a altura de içamento. Para um shopping center de um pavimento, por exemplo, pode ultrapassar os 500 m<sup>2</sup> por equipe por dia (*figura 8*).

### Transporte e montagem

Durante o transporte das lajes alveolares, feito com caminhões, é importante observar se a amarração da carga não introduz tensões não previstas em projeto. As peças empilhadas devem ser separadas por um calço de madeira ou por sacos de areia corretamente posicionados, conforme procedimento da empresa validado pelo projetista. O empilhamento máximo na carga depende do peso máximo permitido para a carga, segundo a legislação e também em função do tipo de caminhão adotado.

O projeto deverá estar em conformidade com a modulação definida e a sequência estabelecida conforme o planejamento de montagem. Embora o sistema seja bastante flexível e adaptável às obras correntes - inclusive quando substitui sistema originalmente moldado in loco -, o ideal é que seja previsto ainda no projeto arquitetônico, observando modulações que permitam o seu uso sem a necessidade de recorrer a artifícios como tiras de lajes com largura inferior ao padrão, recortes e variabilidade dimensional.

### Sequência executiva



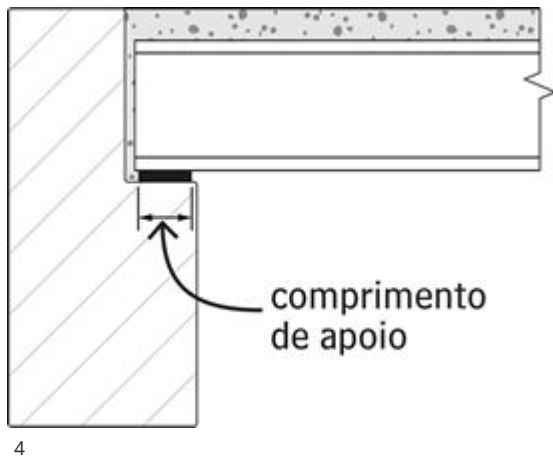
1



2



3



- 1** Durante a entrega, o guindaste já deve estar posicionado, e a equipe de montagem pronta para receber e montar as lajes.
- 2** Após verificar a integridade dos elementos e a documentação de inspeção, a carga será liberada para dar início à etapa de montagem.
- 3** As lajes devem ser apoiadas nas vigas, que podem ser pré-moldadas de concreto, metálicas ou moldadas no local. Durante essa etapa, é fundamental obedecer ao comprimento mínimo de apoio, que deve estar em conformidade com o projeto.
- 4** As lajes serão montadas com juntas longitudinais preenchidas (chaveteamento). Antes do preenchimento das juntas, é importante avaliar se estas estão niveladas por baixo. Esse procedimento é usualmente chamado de equalização. Além do posicionamento das peças, é importante verificar o apoio conforme previsto em projeto, área de contato e apoio mínimo. É importante que todas as lajes estejam niveladas e que atendam perfeitamente às tolerâncias estabelecidas na NBR 14.861.
- 5** Com o rejunte das juntas longitudinais (chaveteamento) executado, o pavimento deve ser preparado com a tela de capa e armadura negativa (quando prevista em projeto) para concretagem.
- 6** Em caso de capeamento, tanto o posicionamento da tela quanto as especificações, devem estar em conformidade com o projeto antes da concretagem. Durante a execução do capeamento, o concreto deve ser distribuído uniformemente na área da laje, evitando-se ao máximo o acúmulo em áreas pontuais que podem, devido ao peso excessivo, desalinhar novamente o fundo das lajes ou, no limite, ultrapassar a carga admissível da laje.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Concreto Pré-Fabricado.** In: Isaia, G. Concreto Ciência e Tecnologia. Doniak, I. L. O.; Gutstein, D. 2. ed. São Paulo: Ibracon, 2011. p. 1569-1613.
- O Concreto no Brasil - volume 3: Pré-fabricação - Monumentos - Fundações.** A. C. Vasconcelos. São Paulo: Studio Nobel, 2002.
- Concreto Pré-moldado Fundamentos e Aplicações.** M. K. El Debs. São Carlos: EESC-USP São Carlos, 2000.
- NBR 14.861 - Lajes Alveolares de Concreto Protendido: Requisitos e Procedimentos.** Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.
- Planning and Design Handbook on Precast Building Structures,** 2nd ed., 6 Federation International Du Betón, fib (CEB-FIP), 2004.