

LAJES ALVEOLARES TATU

1. DEFINIÇÃO

A Laje Alveolar é constituída de painéis de concreto protendido que possuem seção transversal com altura constante e alvéolos longitudinais, responsáveis pela redução do peso da peça. Estes painéis protendidos são produzidos pela TATU na largura de 124,5 cm e nas alturas de 9, 12, 16, 20 e 25 e 30 cm, com concreto de elevada resistência característica à compressão ($f_{ck} \geq 45$ MPa) e aços especiais para protensão.

A figura 1 ilustra uma seção transversal de um Painel Alveolar com a descrição das partes que o constituem.

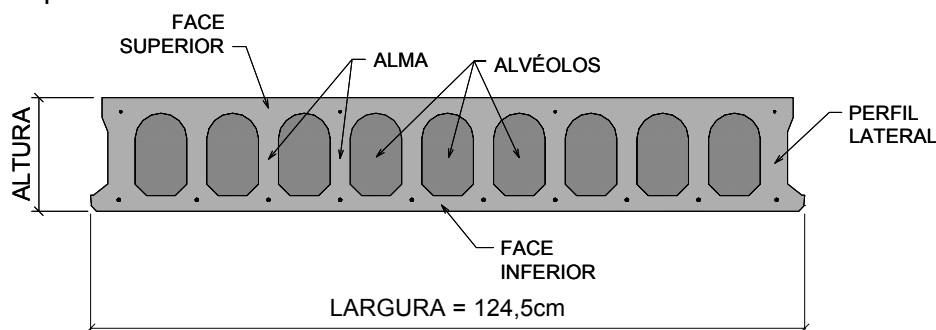


Figura 1 - Seção Transversal do Painel Alveolar

2. VANTAGENS DA LAJE

2.1. Facilidade de Transporte

Os sistemas de lajes tradicionais exigem o recebimento, transporte e estocagem de diversos componentes da laje (vigotas, elementos de enchimento, armaduras e escoras). Para cada um dos componentes é necessário espaço para estocagem e traslado do material do recebimento ao estoque e, do estoque ao local de utilização. Na Laje Alveolar, somente os painéis e, eventualmente o aço para a malha de distribuição, deverão ser recebidos e descarregados com auxílio de guindaste, ou pela grua da própria obra, simplificando o recebimento, estoque e manuseio do produto.

2.2. Simplicidade e Rapidez de Montagem

O processo de montagem da laje alveolar é simples e repetitivo. O rendimento de uma equipe de montagem de três operários pode chegar, sem dificuldade, a 50 m²/h, o que equivale a 400 m² em 8 horas de trabalho.

Após o posicionamento sobre a estrutura, é feito o nivelamento dos painéis alveolares (equalização) com o auxílio de torniquetes de madeira para, somente depois, iniciar-se o preenchimento das juntas entre as placas com concreto fino (graute).

Para as lajes que necessitem de capeamento, 48 horas após a conclusão do rejunte, poderão ser iniciados os serviços de armação e concretagem da capa de concreto, sem necessidade de qualquer escoramento dos painéis. Algumas lajes, como as de cobertura, podem dispensar o capeamento de concreto e,

transcorridas as 48 horas após o preenchimento das juntas, a laje estará pronta para utilização.



Figura 2 – Montagem dos Painéis Alveolares

2.3. Redução de Serviços na Obra

Os serviços de carpintaria, armação e revestimento, além do recebimento, estoque, transporte e manuseio de todos os materiais envolvidos nestas etapas, são eliminados quase que totalmente. Alguns detalhes de acabamento das lajes alveolares junto à estrutura podem ser executados, facilmente, por profissionais sem maior especialização.



Figura 3 –Redução da mão-de-obra

2.4. Eliminação de Cimbramento

Por serem auto-portantes, os painéis alveolares não utilizam escoramentos em sua montagem. Mesmo quando é necessária a utilização de capa de concreto, os painéis alveolares são capazes de resistir a estes carregamentos sem necessidade de qualquer escoramento.

2.5. Possibilidade de Atingir Maiores Vãos

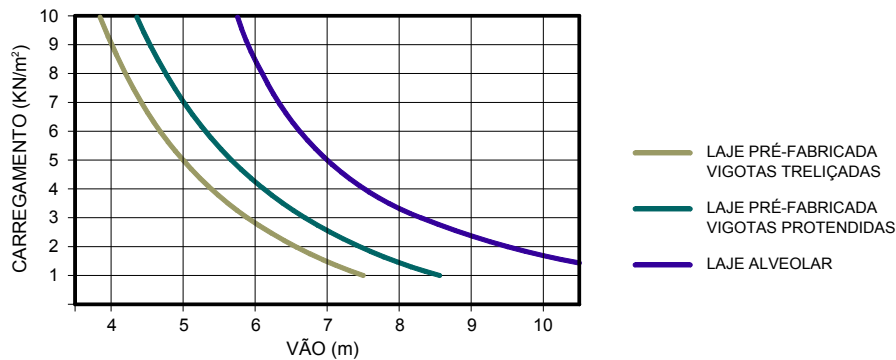


Figura 4 - Gráfico comparativo do desempenho das Lajes Treliçada, Protendida e Alveolar, todas com altura de 16cm.

A laje alveolar é capaz de alcançar grandes vãos, mesmo com cargas de utilização elevadas. Se comparada a outros sistemas de lajes, a Laje Alveolar apresenta maior leveza e menores deformações. A figura 4 ilustra o desempenho das Lajes Alveolares quando comparada a outros sistemas.

2.6. Qualidade e Confiabilidade

A produção das lajes alveolares ocorre em instalações industriais modernas e providas de todos os recursos necessários para garantir a qualidade do material. Desde o controle de materiais, posicionamento de armaduras e protensão, moldagem até a cura do concreto. A moldagem das placas é feita em modernos equipamentos que através de vibração enérgica permitem a utilização de concretos com baixa relação água/cimento e, ao mesmo tempo, produzindo um adensamento ideal.

2.7. Economia

A redução de materiais e mão-de-obra para a execução e, principalmente, a redução acentuada dos prazos de execução torna a Laje Alveolar uma solução indispensável para obras com canteiros pequenos e prazos limitados.



Figura 5 - Acabamento inferior da laje Alveolar

3. COMPONENTES

3.1. Painel Alveolar

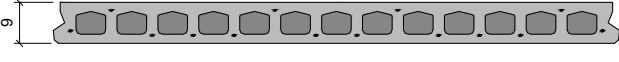





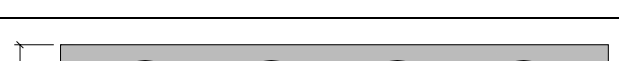
Os Painéis Alveolares Tatu são fabricados com largura padrão de 124,5 cm e nas alturas de 9, 12, 16, 20, 25 e 30 cm.

A partir de materiais cuidadosamente selecionados e utilizando centrais modernas que garantem excelentes condições de dosagem e mistura, produz-se um concreto com baixa relação água/cimento ($a/c \approx 0,3$), que além da alta resistência à compressão, protege as armaduras com maior eficiência, graças a sua baixa porosidade.

Para a protensão são utilizados fios e cordoalhas para concreto protendido, sendo que cada seção transversal é dimensionada (Altura do painel e armadura) de acordo com o vão e o carregamento a que a laje será solicitada.

O quadro a seguir apresenta as seções transversais dos painéis alveolares produzidos pela TATU PRÉ-MOLDADOS.

Quadro 1 – Seções Transversais dos Painéis Alveolares Tatu

	SEÇÃO TRANSVERSAL	CARACTERÍSTICAS
PAINEL - PA		Altura=9 cm Peso-Próprio=1,50 kN/m ² I=5.476 cm ⁴ /m
		Altura=12 cm Peso-Próprio=2,20 kN/m ² I=13.623 cm ⁴ /m
		Altura=16 cm Peso-Próprio=2,45 kN/m ² I=29.668 cm ⁴ /m
		Altura=20 cm Peso-Próprio=2,80 kN/m ² I=54.344 cm ⁴ /m
PAINEL - PE		Altura= 20,5cm Peso-Próprio=3,05 kN/m ² I=59.964 cm ⁴ /m
		Altura=25 cm Peso-Próprio=3,62 kN/m ² I=106.904 cm ⁴ /m
		Altura=30 cm Peso-Próprio=4,20 kN/m ² I=180.572 cm ⁴ /m

3.2. Junta Entre Painéis

O preenchimento das juntas entre os painéis tem como objetivo a garantia de um funcionamento solidário das diversas placas que constituem uma Laje Alveolar, estabelecer uma colaboração entre elas na redistribuição de cargas das mais carregadas para as menos carregadas, além de fornecer o acabamento e a estanqueidade necessária.

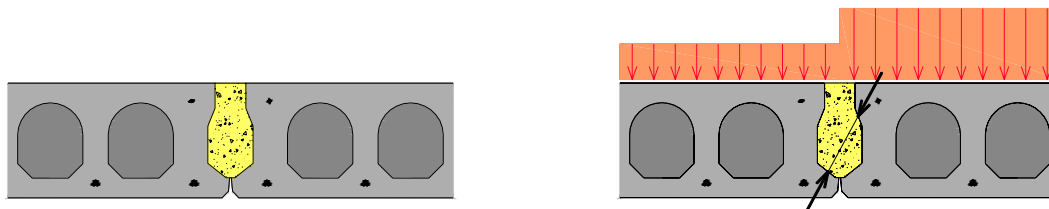


Figura 6 - Chave de cisalhamento entre dois painéis

A Laje Alveolar é desenhada de modo que na união de duas placas apenas as faces inferiores entram em contato, onde existe um chanfro entre as peças para acabamento da face inferior. As faces superiores das placas ficam afastadas entre si, permitindo a passagem do concreto fino (graute). Uma vez concretada, a junta entre as placas constitui uma chave de cisalhamento que solidariza o conjunto das placas (figura 7).

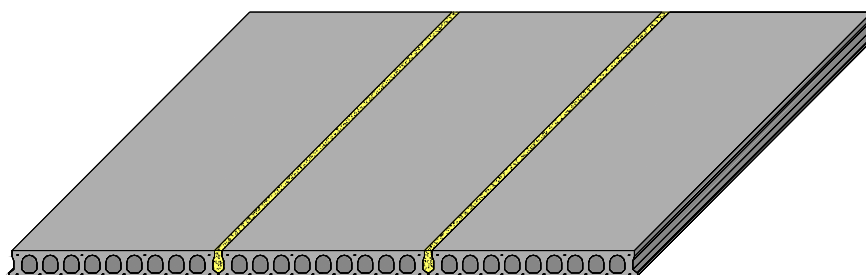


Figura 7 - Painéis solidarizados pela chave de cisalhamento

3.2.1. Equalização de Painéis Alveolares

Após a montagem das placas sobre a estrutura e antes do início do rejuntamento entre as placas, deve ser feita a equalização dos painéis alveolares.

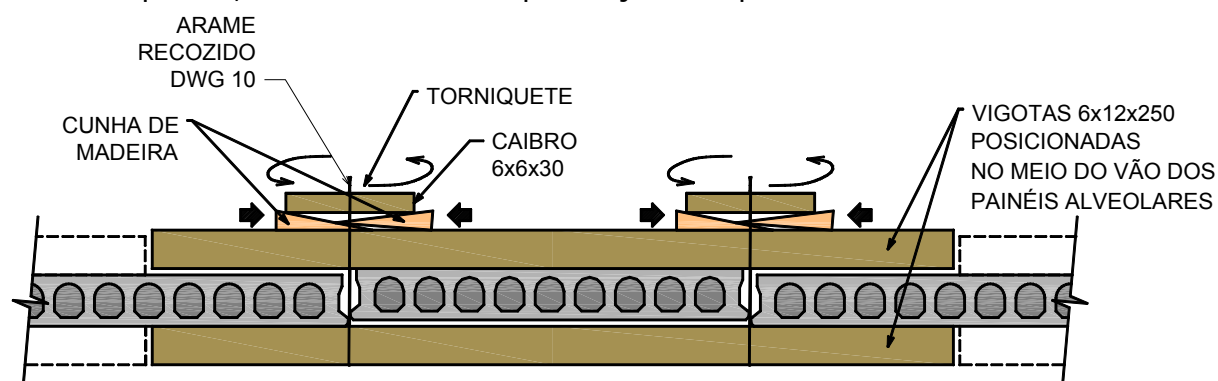


Figura 8 - Montagem do Torniquete para equalização das placas

Como os painéis alveolares são protendidos, após sua fabricação surgem pequenas contra-flechas. Estas contra-flechas não são iguais para todas as placas sendo necessário, após o posicionamento sobre a estrutura, a execução do nivelamento (equalização) das placas através de torniquetes de madeira e arame.

Concluída a equalização das placas de uma laje, as juntas deverão ser preenchidas com concreto fino (graute) e, decorridas 48 horas após a finalização do preenchimento das juntas, o torniquete poderá ser removido e os trabalhos para a conclusão da laje retomados.

3.3. Capa de Compressão

A capa de concreto, necessária à execução de todas as lajes pré-fabricadas pode ser dispensada nas Lajes Alveolares. A área de concreto da seção transversal dos painéis pode ser suficiente para resistir às tensões de compressão e o monolitismo requerido para uniformizar a distribuição das cargas pode ser alcançado, simplesmente, com o preenchimento das juntas. Contudo, para as lajes de piso, é recomendada a utilização da capa de concreto C30 para o nivelamento da superfície da laje e correção da contra-flecha decorrente da protensão dos painéis alveolares.

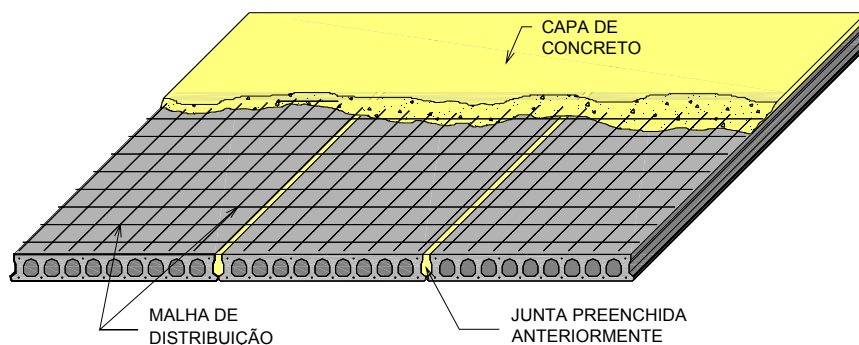


Figura 9 – Capa de concreto executada sobre os painéis alveolares

A capa também permite o alojamento de armaduras necessárias à redistribuição de cargas concentradas, como é o caso das paredes apoiadas sobre a laje.

A espessura mínima da capa deve ser medida no meio do painel alveolar (figura 10) e, como eles possuem uma contra-flecha, próximo aos apoios a espessura da capa deverá ser maior. Esta diferença deverá ser levada em conta para a definição do nível final da laje e para o cálculo do volume necessário de concreto para o capeamento.

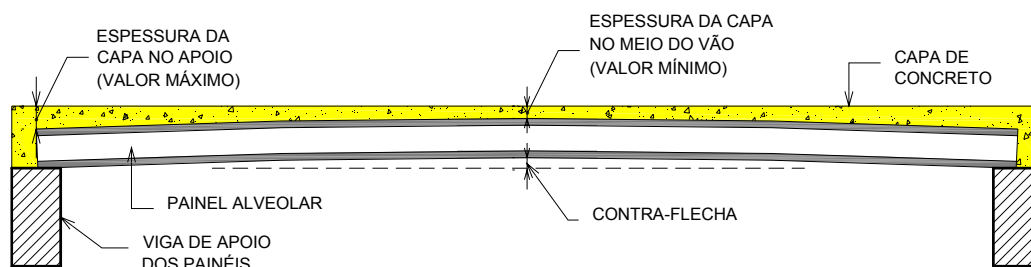


Figura 10 – Variação da espessura da capa de concreto em função da contra-flecha

3.4. Armaduras Passivas

3.4.1. Armadura de Distribuição

A armadura de distribuição tem duas funções principais: auxiliar na distribuição de cargas verticais e controlar a abertura de fissuras por retração do concreto de capeamento. Ela é composta por barras de aço CA50 ou por fios de aço CA60, dispostas no plano da capa, nas duas direções ortogonais, ou por telas eletro-soldadas.

A montagem da malha de distribuição sobre os painéis deverá ser feita, após a conclusão do rejuntamento das placas, com auxílio de espaçadores para que a mesma tenha um cobrimento de 1,5 cm em relação à face superior do capeamento. Quando necessário, o traspasse da malha deverá ser feito pela sobreposição de duas malhas ou a distância mínima de 25 cm.

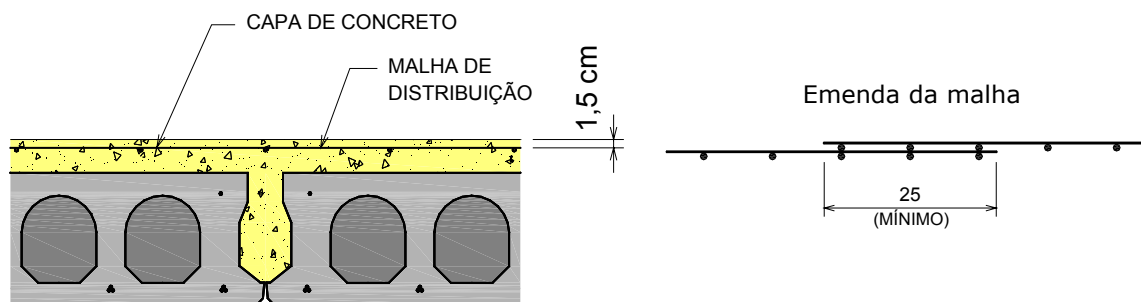


Figura 11 - Malha de distribuição e emenda por traspasse

O quadro a seguir apresenta a armadura mínima que deverá ser utilizada na malha de distribuição em função do carregamento da laje:

Quadro 2 – Malha de Distribuição (Armadura Mínima)

Sobrecargas (kN/m ²)	Esp. da Capa (cm)	Tela Eletro-soldada	Peso Tela (Kg/m ²)
Até 2,5	4	Q92	1,48
de 2,51 até 5,00	4	Q138	2,20
de 5,01 até 7,50	5	Q159	2,52
de 7,51 até 10,00	5	Q196	3,11

3.4.2. Armadura Negativa nas Continuidades

Em lajes contínuas constituídas por painéis alveolares montados numa mesma direção é possível considerar o efeito da continuidade no dimensionamento da laje. Neste caso, além da armadura de distribuição, serão dispostas armaduras negativas nos apoios das lajes onde ocorra continuidade.

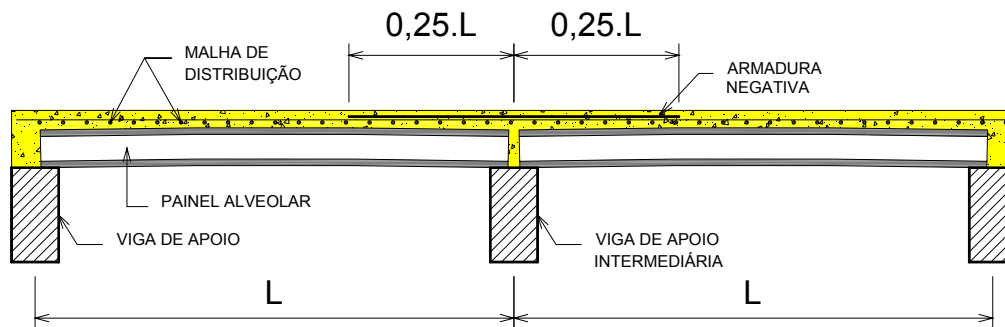


Figura 12 – Posicionamento da Armadura Negativa

3.4.3. Armaduras Especiais

Além da malha de distribuição e das armaduras negativas, podem ser necessárias armaduras para reforço em furos ou, a critério do projetista da estrutura, armaduras de ligação que garantam a solidarização da laje ao restante da estrutura.

4. TRANSPORTE, ARMAZENAMENTO E MONTAGEM

Alguns cuidados devem ser tomados no transporte, armazenamento e montagem dos painéis alveolares, para garantir a integridade das placas e a segurança das operações.

4.1. Içamento

Para o correto içamento dos painéis alveolares, inicialmente deve ser feita a avaliação dos pesos dos painéis em função de seu peso-próprio, de acordo com o quadro 1, apresentado em 3.1.

O peso do painel servirá para o dimensionamento do guidaste que deverá ser utilizado na montagem, além dos acessórios tais como cabos de aço, balancins, etc..

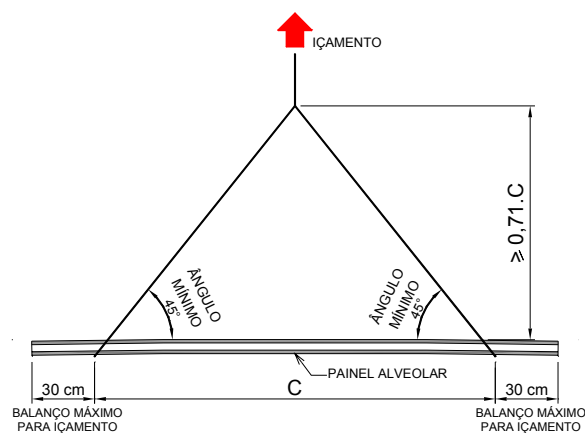


Figura 13 – Posicionamento dos cabos para o içamento dos painéis alveolares

4.2. Armazenamento

Quando armazenados na obra, os painéis alveolares deverão ser apoiados em terreno firme sobre calços de madeira macia. O local deve estar previamente preparado, deve ser plano e, se não for pavimentado, deve ser preparado com uma camada de pedra britada sobre o terreno, para manter as placas limpas.

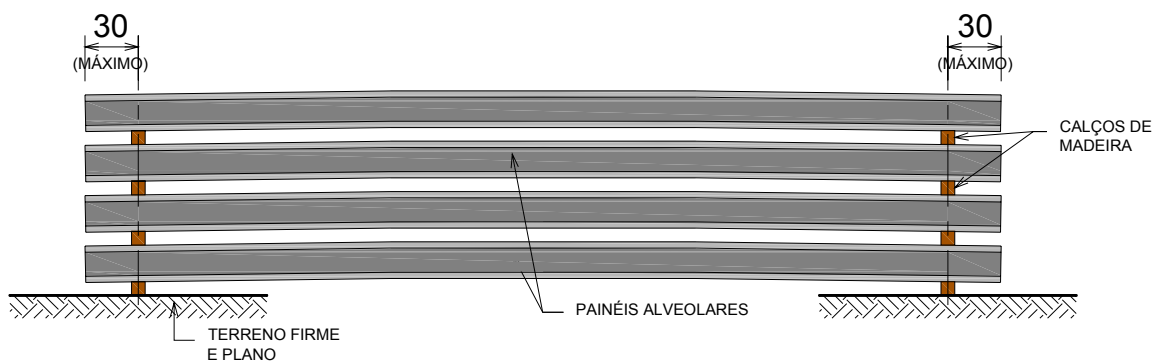


Figura 14 – Empilhamento de painéis alveolares na obra

O empilhamento máximo de painéis alveolares é indicado no quadro abaixo:

Quadro 3 – Empilhamento máximo dos Painéis Alveolares TATU

Altura do painel (cm)	Número de placas por pilha
9	8 placas
12	7 placas
16	6 placas
20	5 placas
25	4 placas
30	4 placas

4.3. Montagem

Observados os cuidados já citados para o içamento e armazenamento, na fase de montagem os painéis serão içados individualmente até sua posição na estrutura, sendo colocados suavemente sobre os apoios, de modo que a placa fique posicionada corretamente, garantindo-se o comprimento de **apoio mínimo** em cada extremidade e o esquadro da placa em relação ao eixo da obra.



Figura 15 – Placa sendo deslocada até a sua posição de montagem

Por esta razão, para receber os painéis alveolares na posição de colocação deve haver um montador em cada extremidade da placa. Cada nova placa é apoiada sobre a estrutura com um pequeno afastamento em relação à anterior, para permitir a retirada dos cabos de içamento. Uma vez posicionada a placa, a anterior é deslocada a sua verdadeira posição pelos montadores com auxílio de pé-de-cabra (figura 16).



Figura 16 – Placa sendo deslocada até a sua posição

4.3.1. Comprimento de Apoio dos Painéis

Dentre os cuidados que devem ser tomados na montagem dos painéis alveolares está a manutenção de um comprimento mínimo de apoio das placas sobre a estrutura. Este comprimento mínimo de apoio equivale à metade da altura do painel. Por exemplo, para uma placa com 12 cm de altura o comprimento de apoio deverá ser de 6 cm (no mínimo) sobre a estrutura, em cada extremidade.

Quadro 4 – Comprimento de apoio dos Painéis Alveolares TATU

Altura do painel (cm)	Comprimento Mínimo de Apoio
9	4,5 cm
12	6,0 cm
16	8,0 cm
20	10,0 cm
25	12,5 cm
30	15,0 cm

4.3.2. Recorte dos Painéis Alveolares

Os painéis alveolares são fabricados com 124,5 cm de largura e para ajustar a modulação das lajes é preciso recortar algumas placas. Estes recortes devem ser feitos na fábrica e somente onde realmente necessário uma vez que elevam o custo de fabricação das placas.

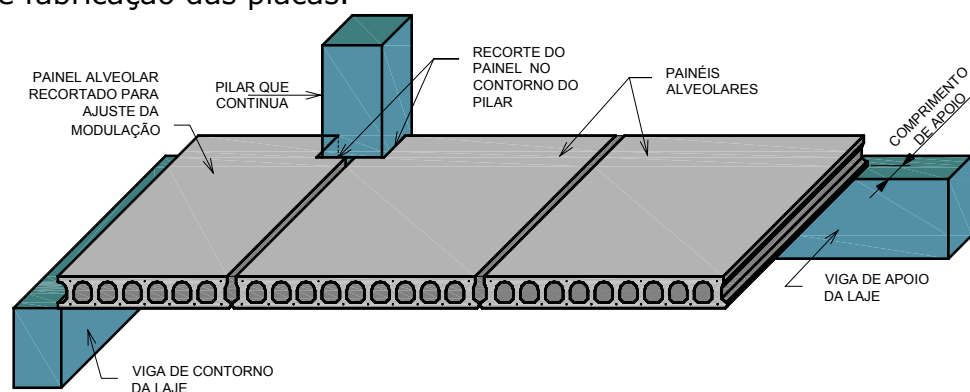


Figura 17 – Empilhamento de painéis alveolares na obra

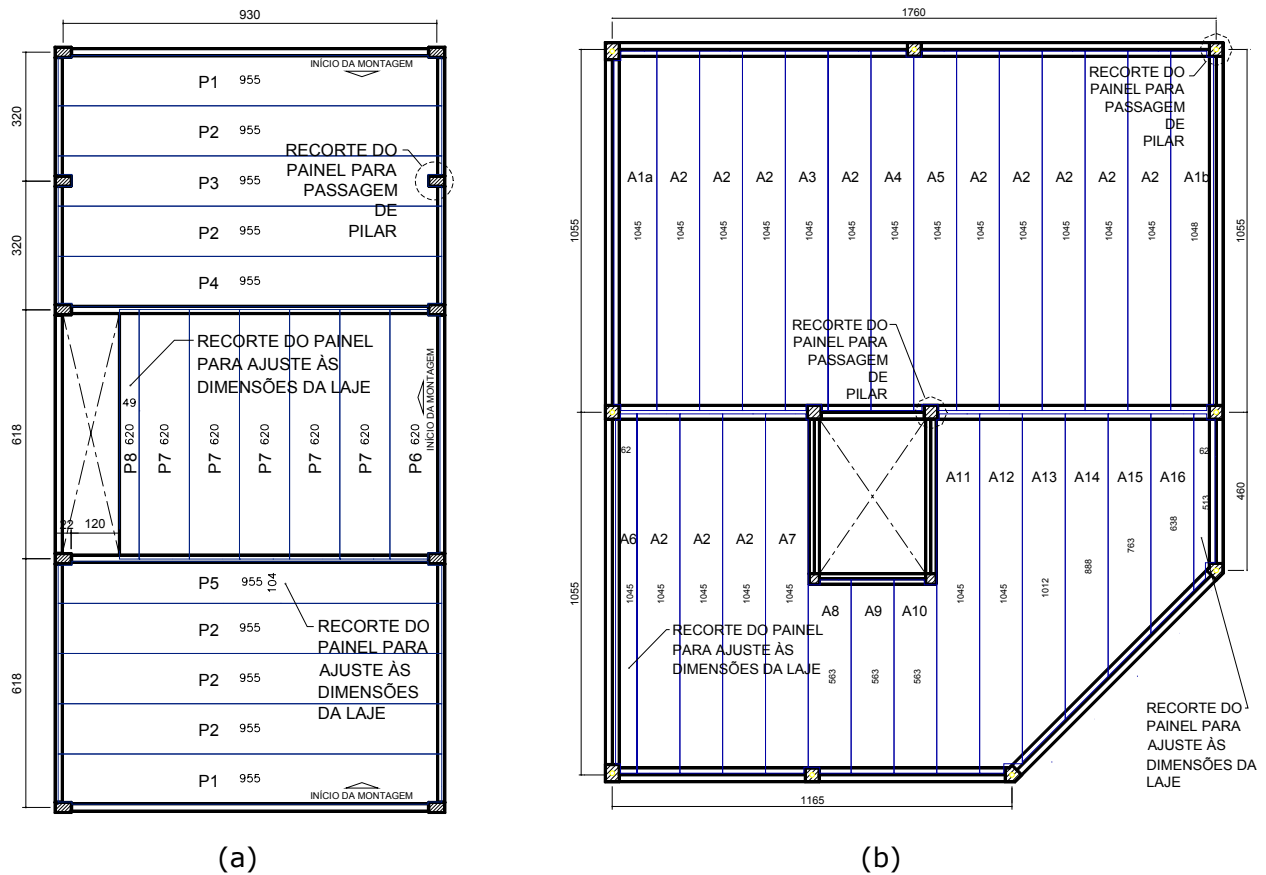


Figura 18 – Modulação das lajes alveolares com indicação das placas recortadas

Através do projeto de forma da estrutura, com medidas conferidas na obra, fornecido pelo Cliente, será elaborado um desenho de modulação da laje (figura 18) com detalhe das placas que serão recortadas durante a fabricação. Nos pilares que continuam para outros pavimentos e que exijam recorte no apoio do painel com dimensão maior que 40 cm, deverão ser utilizados consolos para assegurar o apoio da placa na região recortada.

4.3.2. Furos na Laje

Os furos na laje alveolar devem ser cuidadosamente estudados, ainda na fase de projeto. Com a introdução de dispositivos metálicos (figura 19), devidamente projetados, é possível a execução de furos para shafts e outras aplicações.

Sempre que seja necessário a execução de furos na laje alveolar, consulte o departamento técnico da TATU para receber a orientação necessária à execução deste serviço.

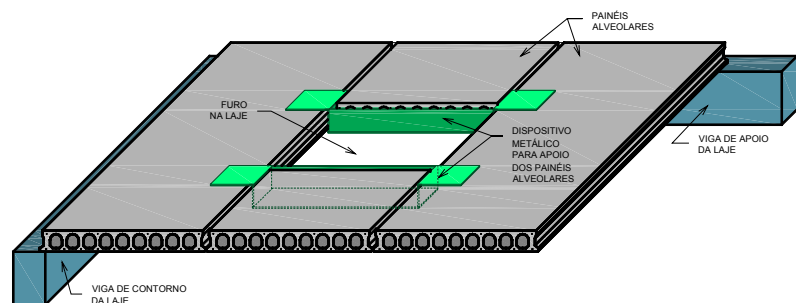


Figura 19 – Exemplo de furo na laje alveolar

5. PROJETANDO COM LAJES ALVEOLARES

5.1 Vãos

5.1.1 Vão Livre (L_0)

Distância entre as faces internas dos apoios de um tramo.

5.1.2 Vão Efetivo (L_{ef})

O vão efetivo ou teórico, que será utilizado para o dimensionamento das lajes pré-fabricadas protendidas pode ser calculado pela expressão:

$$L_{ef} = L_0 + a_1 + a_2$$

Onde:

L_0 : vão livre

a_1 : menor valor entre $t_1/2$ e $0,3H_t$

a_2 : menor valor entre $t_2/2$ e $0,3H_t$ (figura 20)

H_t : altura total da laje

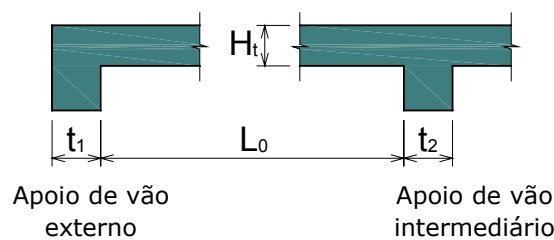


Figura 20 – Determinação do Vão Efetivo(L_{ef}) de uma laje

Para os cálculos das lajes alveolares, o vão efetivo (L_{ef}) calculado pela expressão anterior não deve ultrapassar o Vão Máximo apresentado nas tabelas de pré-dimensionamento da TATU.

5.2 Cargas Nas Lajes

5.2.1 Cargas Acidentais

São cargas distribuídas sobre a laje, decorrentes da sua utilização. Cada edificação tem uma característica própria de ocupação de ambientes que resultam em carregamentos das lajes.

A ABNT NBR6120, sugere as cargas acidentais mínimas que devem ser adotadas para diferentes edificações e seus ambientes e que estão apresentadas a seguir:

Quadro 6 – Cargas acidentais mínimas para lajes

Local		Carga (kN/m ²)
Bibliotecas	Sala de leitura	2,5
	Sala com estantes de livros com 2,5kN/m ² por metro de altura, sendo o valor mínimo:	6,0
Cinemas	Platéia com assentos fixos	3,0
	Estúdio e platéia com assentos móveis	4,0
	Sanitários	2,0
Clubes	Sala de refeições e assembléias com assentos fixos	3,0
	Sala de assembléias com assentos móveis	4,0
	Salão de danças e esportes	5,0
	Sala de bilhar e sanitários	2,0
Edifícios Residenciais	Dormitórios, sala, copa, cozinha e banheiro	1,5
	Despensa, A.S. e lavanderia	2,0
Escolas	Anfiteatros com assentos fixos, corredores e salas de aula	3,0
	Outras salas	2,0
Escritórios	Salas de uso geral e sanitários	
Forros	Sem acesso a pessoas	0,5
Hospitais	Dormitórios, enfermarias, sala de recuperação, cirurgia, raio X e banheiros	2,0
	Corredor	3,0
Lojas		4,0
Restaurantes		3,0

5.2.2 Cargas Permanentes

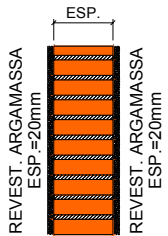
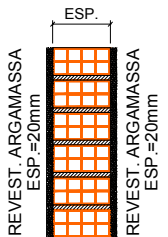
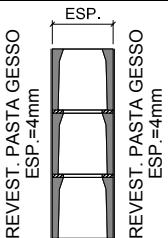
São cargas devido ao peso-próprio da estrutura, revestimentos, enchimentos, paredes, etc. Algumas delas estão indicadas na tabela abaixo:

Quadro 7 – Peso de alguns materiais de construção

Materiais		Peso específico ou aparente (kN/m ³)
Rochas	Granito	28,0
	Mármore	28,0
Revestimentos e concretos	Argamassa	20,0
	Concreto simples	24,0
	Concreto Armado	25,0
Madeiras	Pinho, cedro e cerejeira	6,0
	Imbuia, mogno,	6,5
	Jatobá, ipê-roxo e cabriúva-vermelha	9,6
	Angico-preto e angelim-vermelho	11,0
Metais	Aço	78,5
	Alumínio	28,0
	Bronze	85,0
	Chumbo	114,0
	Cobre	89,0

Eventualmente, estas cargas podem ser concentradas, como é o caso das cargas de paredes apoiadas diretamente sobre a laje e que, por este motivo, devem ser tratadas com especial atenção.

Quadro 8 – Peso de algumas alvenarias

	Esp. parede	Peso (kN/m ²)
	9	2,7
	19	4,0
	9	1,5
	19	2,3
	7	1,3
	9	1,4
	11,5	1,5
	14	1,7
	19	2,0

5.3 Definição da Altura da Laje

Uma vez definidos vão e cargas atuantes na laje, o passo seguinte no dimensionamento é a determinação da altura adequada para a laje alveolar. Além de garantir que suporte às solicitações dos carregamentos estabelecidos no projeto, a laje também deverá apresentar deformações compatíveis com a aplicação a que se destina.

Quando no dimensionamento das lajes alveolares impõe-se alturas muito baixas, a taxa de armadura protendida tem que ser elevada resultando em painéis com grandes contra-flechas. Este problema é maior em lajes de piso, porque o capeamento de concreto é nivelado e nos apoios do painel sua espessura será muito maior que no meio do vão (figura 10). Em decorrência deste problema, há um aumento do consumo de concreto para o capeamento, além de um acréscimo da altura real da laje medida no meio do vão, em relação aos apoios.

Outro problema que poderá ocorrer é de vibração excessiva da laje, principalmente em áreas destinadas ao trânsito constante de pessoas ou operação de equipamentos.

Para prevenir este problema, no quadro a seguir, indicamos a altura mínima da laje alveolar em função do vão e do carregamento total aplicado (peso-próprio + carga permanente + carga accidental). Esta altura mínima engloba a espessura dos painéis e o capeamento, quando este existir.

Quadro 5 – Alturas Mínimas (cm) para Lajes Alveolares TATU

Vão (m)	Peso-próprio + Carga permanente + Carga acidental (kN/m ²)						
	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3,00	9,0	9,0	9,0	12,0	13,0	13,0	14,0
4,00	9,0	9,0	12,0	12,0	16,0	16,0	17,0
5,00	9,0	12,0	16,0	16,0	16,0	18,0	20,0
6,00	12,0	16,0	16,0	18,0	20,0	20,0	25,0
7,00	12,0	16,0	16,0	20,0	25,0	25,0	27,0
8,00	16,0	16,0	22,0	25,0	25,0	25,0	28,0
9,00	16,0	20,0	25,0	25,0	26,0	30,0	33,0
10,00	20,0	20,0	25,0	25,0	27,0	32,0	37,0
11,00	20,0	25,0	30,0	30,0	35,0	35,0	38,0
12,00	20,0	25,0	30,0	30,0	35,0	37,0	38,0

A determinação da altura total da laje, medida do nível do apoio dos painéis até o nível superior da capa no meio do vão, ou seja, considerando a contra-flecha dos painéis alveolares, devemos somar à altura obtida no dimensionamento final da laje uma estimativa de contra-flecha.

Esta estimativa de contra-flecha para os painéis da classe 3, que têm a maior taxa de armadura protendida, pode ser calculada pela expressão a seguir, devendo ser confirmada com nosso departamento técnico.

$$CF = \frac{L}{300}$$

Onde,

CF: contra-flecha

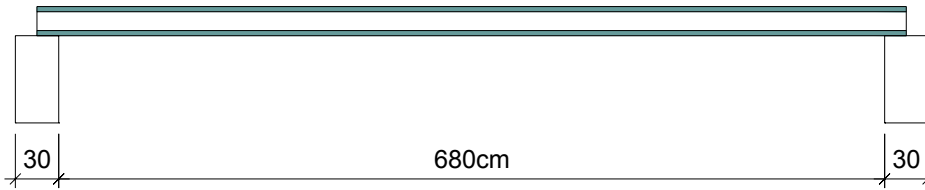
L: Vão dos painéis alveolares

5.4. Pré-Dimensionamento da Laje

Para o pré-dimensionamento das lajes alveolares, a TATU elaborou um conjunto de tabelas, calculadas para lajes bi-apoiadas, que fornecem os vãos máximos (vãos efetivos) alcançados em cada tipo de painel, com 3 classes de armação e com sobrecargas variando de 0,5 a 15,0 kN/m², sem ou com colaboração do capeamento de concreto.

As tabelas apresentam também os momentos resistentes últimos das diversas seções que poderão ser úteis na elaboração de bancos de dados de projetistas.

Exemplo de utilização: Dimensionar uma laje que deverá ser usada para o estúdio de um cinema cujo piso receberá um revestimento (carga de revestimento de 1,0 kN/m²). O vão livre é de 6,80m e as vigas de apoio da laje têm 30 cm de largura, conforme figura a seguir:



Solução:

Determinando a Sobrecarga da Laje

Tabela 1 → Cinema – estúdio → Carga Acidental

4,0 kN/m²

Carga do revestimento do piso

1,0 kN/m²

Sobrecarga

5,0 kN/m²

Determinando o Vão efetivo da Laje

$$L_{ef} = L_0 + a_1 + a_2$$

Com o auxílio do quadro 5, definimos a altura da laje:

O vão efetivo deve estar em torno de 7,00 m e o carregamento (peso-próprio+sobrecarga) em parte é conhecido. Arbitramos um valor para o peso-próprio de 3,0 kN/m² e, portanto, o carregamento total da laje será de 8,0 kN/m².

Quadro 5 - Alturas mínimas para Lajes Alveolares TATU

Vão (m)	Peso-próprio + Carga permanente + Carga acidental (kN/m ²)					
	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0	12,0
3,00	9,0	9,0	12,0	17,0	13,0	14,0
4,00	9,0	12,0	12,0	16,0	16,0	17,0
5,00	12,0	16,0	16,0	16,0	18,0	20,0
6,00	16,0	16,0	18,0	20,0	20,0	25,0
7,00	16,0	16,0	20,0	25,0	25,0	27,0
8,00	16,0	22,0	25,0	25,0	25,0	28,0
9,00	20,0	25,0	25,0	26,0	30,0	33,0
10,00	20,0	25,0	25,0	27,0	32,0	37,0
11,00	25,0	30,0	30,0	35,0	35,0	38,0
12,00	25,0	30,0	30,0	35,0	37,0	38,0

Do quadro 5 obtém-se a altura mínima da laje igual a 25 cm.

a₁: menor valor entre t₁/2 e 0,3H_t = 7,5 cm


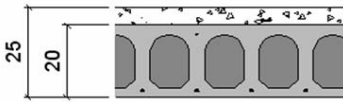
a₂: menor valor entre t₂/2 e 0,3H_t = 7,5 cm

$$L_{ef} = L_0 + a_1 + a_2$$

$$L_{ef} = 680 + 7,5 + 7,5 = 695 \text{ cm}^*$$

Em busca do Painel Alveolar que atenda ao vão de 6,95 m com uma sobrecarga de 5,0 kN/m², consultamos as tabelas de dimensionamento e na PA20 encontramos:

◀◀ **PA20** ▶▶

SEÇÃO DE PAINEL	Sem Capa		Capa = 5cm					
								
	Vãos Máximos (cm)							
TABELA DE DIMENSIONAMENTO	Classe 1		Classe 2		Classe 3			
	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm		
	M.R.U. (kN.m/m)	43,8	57,6	52,8	68,4	69,6	89,1	
	Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	871	746	956	819	1098	940
		1,0	812	716	891	818	1023	878
		2,0	722	não atende	793	não atende	910	Ok! atende
		3,0	657	não atende	721	não atende	828	não atende
		4,0	607	não atende	666	não atende	765	não atende
		5,0	566	605	622	659	714	752
		6,0	533	574	586	625	672	714
		8,0	481	524	529	571	607	651
		10,0	442	485	486	528	557	603
12,5		404	447	444	487	510	555	
15,0		375	416	412	454	473	518	
Informações adicionais: Peso-próprio da laje (sem capa) = 2,80 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 4,00 kN/m ² Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 10,6 litros/m de junta. Concreto de capeamento C30.								

A solução para o exemplo será o Painel Alveolar PA20, Classe 3 com capeamento de 5cm de espessura.

A altura da laje será de 25 cm no meio do vão e a estimativa da contra-flecha é de $(L/300)$ 2,3 cm. A altura total da laje, medida do nível do apoio até o nível superior da capa, no meio do vão da laje, será de 27,3 cm.

*** Caso a altura da laje seja maior que arbitrada inicialmente, o vão efetivo deverá ser recalculado para a nova altura.**

6. TABELAS PARA O PRÉ-DIMENSIONAMENTO DAS LAJES ALVEOLARES TATU

◀◀ PA09 ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Vãos Máximos (cm)						
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		ARMAÇÃO	Sem Capa	Capa=3cm	Sem Capa	Capa=3cm	Sem Capa	Capa=3cm
				M.R.U. (kN.m/m)	6,3	10,0	9,8	14,9
Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	430	369	536	460	578	496	
	1,0	383	369	478	460	516	496	
	2,0	323	369	403	453	435	482	
	3,0	284	333	355	407	383	433	
	4,0	257	305	321	372	346	396	
	5,0	236	283	295	345	318	368	
	6,0	220	265	274	323	296	344	
	8,0	195	237	243	290	263	308	
	10,0	177	217	221	265	239	282	
	12,5	161	197	200	241	216	257	
	15,0	148	183	185	223	199	237	

Informações adicionais:
 Peso-próprio da laje (sem capa) = 1,45 kN/m² - Peso-próprio da laje (com capa) = 2,15 kN/m²
 Consumo de argamassa (f_{ak}=30MPa) para rejunte das placas = 2,8 litros/m de junta.
 Concreto de capeamento C30.

◀◀ PA12 ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Vãos Máximos (cm)						
		Classe 1		Classe 2		Classe 3		
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		Classe de Painel	Sem Capa	Capa=4cm	Sem Capa	Capa=4cm	Sem Capa	Capa=4cm
				M.R.U. (kN.m/m)	24,1	34,6	28,8	41,0
Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	728	623	796	681	850	728	
	1,0	667	623	729	681	779	728	
	2,0	580	623	634	681	677	725	
	3,0	520	572	568	622	607	663	
	4,0	475	530	519	576	555	614	
	5,0	440	496	481	539	515	575	
	6,0	412	467	451	509	482	542	
	8,0	369	423	404	460	431	490	
	10,0	337	389	369	424	394	451	
	12,5	307	357	336	388	359	413	
	15,0	284	331	310	360	332	384	

Informações adicionais:
 Peso-próprio da laje (sem capa) = 2,10 kN/m² - Peso-próprio da laje (com capa) = 3,05 kN/m²
 Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 5,2 litros/m de junta.
 Concreto de capeamento C30.

◀◀ **PA16** ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Sem Capa		Capa = 4cm						
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		Vãos Máximos (cm)								
				Classe 1		Classe 2		Classe 3		
				Sem Capa	Capa=4cm	Sem Capa	Capa=4cm	Sem Capa	Capa=4cm	
		M.R.U. (kN.m/m)		34,0	44,6	40,8	53,0	53,5	68,7	
		Sobrecargas (kN/m ²)		0,5	812	706	889	773	1018	885
				1,0	750	706	822	773	941	885
				2,0	661	687	724	749	829	853
				3,0	597	631	654	688	749	783
				4,0	549	587	601	640	688	728
				5,0	511	551	559	600	641	684
				6,0	480	521	525	568	601	646
				8,0	431	473	472	515	541	587
				9,0	412	453	451	494	517	563
				10,0	395	436	433	475	496	541
		12,5	360	400	395	436	452	497		
15,0	334	372	366	406	419	462				
Informações adicionais:		Peso-próprio da laje (sem capa) = 2,45 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 3,40 kN/m ² Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 7,8 litros/m de junta. Concreto de capeamento C30.								

◀◀ **PA20** ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Sem Capa		Capa = 5cm						
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		Vãos Máximos (cm)								
				Classe 1		Classe 2		Classe 3		
				Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	
		M.R.U. (kN.m/m)		43,8	57,6	52,8	68,4	69,6	89,1	
		Sobrecargas (kN/m ²)		0,5	871	746	956	819	1098	940
				1,0	812	746	891	819	1023	940
				2,0	722	741	793	807	910	921
				3,0	657	686	721	747	828	853
				4,0	607	641	666	699	765	798
				5,0	566	605	622	659	714	752
				6,0	533	574	586	625	672	714
				8,0	481	524	529	571	607	651
				10,0	442	485	486	528	557	603
				12,5	404	447	444	487	510	555
		15,0	375	416	412	454	473	518		
Informações adicionais:		Peso-próprio da laje (sem capa) = 2,80 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 4,00 kN/m ² Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 10,6 litros/m de junta. Concreto de capeamento C30.								

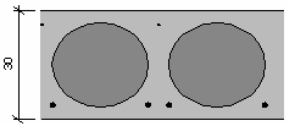
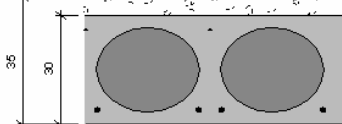
◀◀ PE20 ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Vãos Máximos (cm)					
		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm
		M.R.U. (kN.m/m)		102,5	129,3	115,3	144,9
Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	1284	1110	1362	1178	1433	1238
	1,0	1203	1110	1275	1178	1341	1238
	2,0	1077	1087	1142	1151	1201	1207
	3,0	984	1010	1044	1069	1097	1121
	4,0	911	946	967	1002	1017	1050
	5,0	853	894	905	946	951	992
	6,0	804	849	853	899	897	942
	8,0	728	777	772	822	812	862
	10,0	670	720	711	762	747	799
	12,5	614	664	651	703	684	737
15,0	570	620	604	656	635	688	
Informações adicionais: Peso-próprio da laje (sem capa) = 3,05 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 4,25 kN/m ² Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 10,6 litros/m de junta. Concreto de capeamento C30.							

◀◀ PE25 ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL		Vãos Máximos (cm)					
		Classe 1		Classe 2		Classe 3	
TABELA DE DIMENSIONAMENTO		Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm
		M.R.U. (kN.m/m)		132,4	160,8	151,3	182,5
Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	1355	1193	1449	1275	1548	1362
	1,0	1280	1193	1368	1275	1462	1362
	2,0	1160	1161	1240	1237	1326	1318
	3,0	1069	1084	1143	1155	1221	1231
	4,0	996	1021	1065	1087	1138	1159
	5,0	937	967	1001	1031	1070	1098
	6,0	887	922	948	982	1013	1046
	8,0	807	847	863	902	922	961
	10,0	745	787	797	839	851	894
	11,0	719	762	769	812	822	865
12,5	685	728	732	776	783	827	
15,0	637	681	681	725	728	773	
Informações adicionais: Peso-próprio da laje (sem capa) = 3,62 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 4,82 kN/m ² Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 14,3 litros/m de junta. Concreto de capeamento C30.							

◀◀ PE30 ▶▶

SEÇÃO DO PAINEL	Sem Capa		Capa = 5cm					
								
	Vãos Máximos (cm)							
TABELA DE DIMENSIONAMENTO	Classe 1		Classe 2		Classe 3			
	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm	Sem Capa	Capa=5cm		
	M.R.U. (kN.m/m)	166,4	195,4	217,6	252,9	237,7	275,9	
	Sobrecargas (kN/m ²)	0,5	1422	1269	1627	1452	1700	1517
		1,0	1352	1269	1546	1452	1616	1517
		2,0	1238	1228	1416	1397	1480	1460
		3,0	1149	1153	1314	1312	1374	1370
		4,0	1077	1090	1231	1240	1287	1295
		5,0	1017	1036	1163	1179	1215	1231
		6,0	966	990	1104	1126	1154	1176
		8,0	883	913	1010	1038	1055	1085
		10,0	818	851	936	969	978	1012
12,5		755	790	863	899	902	938	
15,0	704	740	805	842	841	879		
Informações adicionais:								
Peso-próprio da laje (sem capa) = 4,20 kN/m ² - Peso-próprio da laje (com capa) = 5,40 kN/m ²								
Consumo de concreto (C30), brita 0, para rejunte das placas = 18,0 litros/m de junta.								
Concreto de capeamento C30.								

7. BIBLIOGRAFIA

ASOCIACIÓN PARA LA I+D DE LAS PLACAS ALVEOLARES - Manual AIDEPLA para el proyecto y la ejecución de elementos resistentes con alveoplaca – Madrid, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6118 – Projeto de estruturas de concreto – Procedimento – Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 6120 – Cargas para o cálculo de estruturas de edificações – Rio de Janeiro, 1980.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 9062 – Projeto e execução de estruturas de concreto pré-moldado – Rio de Janeiro, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, NBR 14861 – Laje pré-fabricada – Painel alveolar de concreto protendido - Requisitos – Rio de Janeiro, 2002.

EL DEBS, Mounir Khalil – Concreto pré-moldado: fundamentos e aplicações – São Carlos - Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo, 2000.