

## CÁLCULO DOS ESFORÇOS NAS LAJES.

### Classificação das lajes

As lajes se classificam em dois grupos:

a) Lajes armadas numa única direção, quando a relação entre o maior e o menor vão é maior do que 2. Calculam-se como apoiadas em uma só direção (vão menor).

b) Lajes armadas em cruz, quando a relação entre o maior e o menor vão é menor ou igual a 2. Calculam-se como apoiadas nas duas direções.

### Carga por metro quadrado

A primeira operação do cálculo de uma laje é a determinação da carga que atua em cada metro quadrado, a qual se compõe das seguintes parcelas:

**I) Carga útil ou sobrecarga**, constituída pelo peso dos móveis, pessoas e objetos que carregam sobre a laje e especificada pelos regulamentos oficiais de carga.

A Norma Brasileira de Cargas para o Cálculo de Estruturas de Edifícios -NB-5 -, prescreve:

### Cargas verticais

Art. 3 — As cargas verticais, que se consideram atuando nos pisos dos edifícios, além das que se aplicam com caráter especial, são consideradas uniformemente distribuídas. Os valores mais usuais são<sup>2</sup>:

a) em forros não destinados a depósitos 50 kg/m<sup>2</sup>

b) em compartimentos destinados a dormitórios, salas, copa, cozinha e banheiro 150 kg/m<sup>2</sup>

c) em despensa, área de serviço, lavanderia e dependências de escritórios 200 kg/m<sup>2</sup>

d) em compartimentos destinados a reuniões ou ao acesso público 300 kg/m<sup>2</sup>

e) em compartimentos destinados a bailes, ginástica ou esportes 500 kg/m<sup>2</sup>

f) em compartimentos destinados a arquivos, bibliotecas ou depósitos de qualquer natureza, as que se determinarem em cada caso especial.

### Redução de cargas

Art. 4 — No cálculo dos pilares e das fundações de edifícios de mais de três andares, as cargas dos itens a e b do artigo 3 podem ser reduzidas de 20%, no 4º pavimento a contar de cima, de 40% no 5º e de 60% no 6º e seguintes.

### Parapeitos de balcões

Art. 5 — Ao longo dos parapeitos de balcões, deve-se considerar aplicada uma carga mínima vertical de 200 kg/m (2 KN/m)

### Carga horizontal

Art. 6 — Em qualquer parapeito deve-se considerar aplicada, na altura do corrimão, uma carga horizontal de 80 kg/m (0,8 KN/m)

**II) Peso próprio da laje**, que é determinado partindo de uma altura estimada aproximadamente para a laje. Esta altura, que nos casos de edifícios comuns varia de 5 a 12 centímetros, deve ser multiplicada pelo peso específico do concreto armado (2500 kg/m<sup>3</sup> para se ter o peso próprio por metro quadrado de laje.

Para a determinação do peso próprio, toma-se necessário fixar previamente a altura da laje que, em definitivo, só pode ser decidida após o cálculo dos esforços, os quais, por sua vez, dependem do peso próprio.

Para levantar esta indeterminação, usa-se a fórmula:

$$d \geq \frac{l}{\psi_2 \cdot \psi_3} \quad \text{sendo } l \text{ o vão menor, } \psi_2 \text{ e } \psi_3$$

dados a seguir, e  $h = d + 1 \text{ cm}$ .

Vigas e lajes armadas em uma direção ( $\psi_2$ ):

|                         |     |
|-------------------------|-----|
| — simplesmente apoiadas | 1,0 |
| — Contínuas             | 1,2 |
| — duplamente engastadas | 1,7 |
| — em balanço            | 0,5 |

<sup>2</sup> Em k N dividir estes valores por 100

Lajes armadas em cruz ( $\psi_2$ ):

|  |            |            |             |             |            |
|--|------------|------------|-------------|-------------|------------|
| $\begin{matrix} l_x \\ l_y \end{matrix}$ |            |            |             |             |            |
|  | 2,2<br>1,7 | 2,0<br>1,7 | 1,9<br>1,7  | 1,7<br>1,7  | 1,7<br>1,7 |
|  | 2,0<br>1,4 | 1,8<br>1,4 | 1,7<br>1,4  | 1,4<br>1,3  | 1,3<br>1,3 |
|  | 1,9<br>1,2 | 1,7<br>1,1 | 1,5<br>1,1  | 1,1<br>1,0  | 1,0<br>1,0 |
|  | 1,7<br>0,5 | 1,4<br>0,5 | 1,1<br>0,5  | 0,7<br>0,5  | 0,6<br>0,5 |
|  | 1,7<br>0,5 | 1,3<br>0,5 | 1,0<br>0,5* | 0,6<br>0,5* | 0,5<br>0,3 |

Figura 10

$l_y$ =vão menor  
 $l_x$ =vão maior

número superior:  $\psi_2$  para  $l_x/l_y = 1$

número inferior:  $\psi_2$  para  $l_x/l_y = 2$ , podendo usar-se para a razão entre os lados maior que 2, exceto nos casos assinalados com asterisco.

Para  $1 < l_x/l_y < 2$ : interpolar linearmente.

**Valores para  $\psi_3$ :**

| Tensão na armadura para a solicitação de cálculo $\sigma_{sd}$ | Em vigas e lajes nervuradas | Em lajes maciças |
|--|-----------------------------|------------------|
| 2150 kgf/cm <sup>2</sup> (215 MPa)                             | 25                          | 35               |
| 2800 " (280 MPa)   | 22                          | 33               |
| 3500 " (350 MPa)   | 20                          | 30               |
| 4350 " (435 MPa)   | 17                          | 25               |
| 5200 " (520 MPa)   | 15                          | 20               |

Para as lajes, com mais de 4 metros de vão teórico, que suportarem paredes na direção do vão suscetíveis de fissuração, as alturas úteis mínimas calculadas por este item deverão ser multiplicadas por 1/4 (l em metros).

O valor de  $f_{yd}$  indicado no quadro que serve para obter o coeficiente é a tensão de cálculo das armaduras. Os aços mais usados para as armaduras são o aço comum CA-25, para o qual se toma = 35, e o aço especial CA-50, para o qual se toma 25.

A norma NB-1 recomenda o cálculo das flechas para verificar se estão dentro dos limites:

Para as cargas acidentais multiplicadas por 0,7:  $f \leq \frac{l}{500}$

Para a carga permanente mais 0,7 da acidental:  $f \leq \frac{l}{300}$

O módulo de deformação a ser considerado nos cálculos das flechas é o módulo de deformação secante do concreto tomado igual a 0,9 do módulo na origem. Este é igual a  $2100 \sqrt{f_{cj}}$ , em  $\text{kg/cm}^2 = 6600 \sqrt{f_{cj}}$  MPa, podendo-se tomar para  $f_{cj}$  no projeto o valor:  $f_{cj} = f_{ck} + 35 \text{Kg/cm}^2 (= f_{ck} + 3,5 \text{MPa})$

Para as cargas de longa duração que não sejam aplicadas mais de 6 meses depois do término da construção, usa-se a metade do módulo acima prescrito para prever o efeito da deformação lenta.

O cálculo de flecha pode ser dispensado se a altura útil da laje não for inferior ao valor obtido com o emprego de fórmula.

**III) Peso do pavimento e revestimento**, incluindo peso dos tacos ou ladrilhos, camada de fixação e revestimento inferior das lajes.

Geralmente toma-se  $50 \text{ kg/m}^2$  para essa parcela no caso dos edifícios comuns<sup>3</sup>

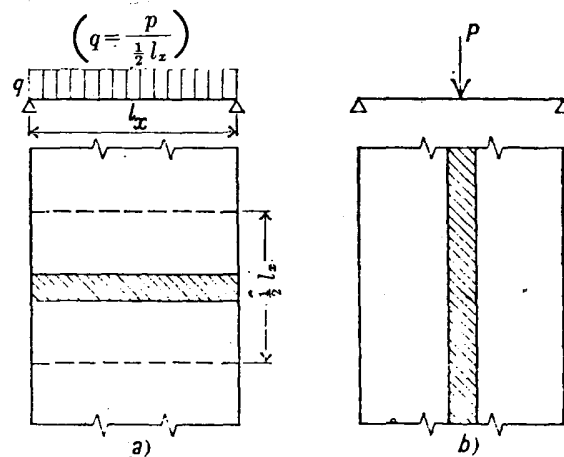
**IV) Peso de paredes.** Havendo paredes que carreguem sobre a laje, devemos calcular o peso por metro corrente dessas paredes, o que se obtém multiplicando o pé direito pela espessura e pelo peso específico do material. Para a alvenaria de tijolos maciços, o peso específico é de  $1600 \text{ kg/m}^2$  e para a de tijolos furados  $1200 \text{ kg/m}^2$ .

Nas lajes armadas em cruz, a carga das paredes é computada dividindo o peso total das paredes pela área da laje, obtendo-se uma nova parcela para a carga por metro quadrado. Por medida de segurança é conveniente **não deduzir**, no cálculo da área da parede, a parte vazia ocupada por esquadrias, como se faz no caso de vigas.

Estudos mais modernos permitem, no caso de uma parede corrida atuando sobre laje armada em cruz, a determinação dos esforços, considerando tal parede como carga concentrada, ao invés de supô-la uniformemente distribuída sobre toda a laje.

No caso de várias paredes sobre lajes armadas em cruz e mesmo no caso de uma só parede em lajes armadas em cruz não muito grandes, a transformação da carga da parede em carga uniformemente distribuída conduz a resultados satisfatórios.

Já no caso das lajes armadas numa só direção, a carga da parede deve ser estudada atendendo à sua situação como carga aplicada em uma faixa de pequena largura, como passamos a expor.



**Figura 11**

Para as lajes armadas numa direção devemos distinguir dois casos:

- paredes paralelas à direção da armação e
- paredes normais a esta direção.

<sup>3</sup> No caso de pisos ladrilhados, o peso da pavimentação é superior a  $50 \text{ kg/m}^2$ , enquanto que para pisos taqueados a teríamos valor em torno do médio fixado. Salvo casos especiais, em que o peso da pavimentação deve ser avaliado em função dos elementos construtivos (mármore, marmorite, etc.), o valor médio de  $50 \text{ kg/m}^2$  pode ser adotado sem inconveniente.

**Paredes paralelas à direção da armação**, considera-se a parede como distribuída em uma faixa de largura igual a 1/2 do vão menor (direção da armação).

**Paredes normais a esta direção**, a parede deve ser considerada como concentrada (**Figura 11-b**)<sup>4</sup>.

**V) Peso de enchimento.** Nas lajes rebaixadas destinadas a prever espaço para execução de canalizações, quando for projetada uma camada de enchimento, deve-se calcular a carga por metro quadrado devida ao enchimento, multiplicando a sua espessura pelo peso específico de 1000 kg/m<sup>3</sup> (escória, pedaços de tijolos com argamassa magra, etc.).

Quando o enchimento for executado com argamassa pura, como no caso de pequenos rebaixos e nos destinados à obtenção de caimento para escoamento de águas, o peso específico deve ser de 1500 kg/m<sup>3</sup>. usando-se no cálculo da carga por metro quadrado a espessura média, quando esta for variável.

Na prática, usam-se nos banheiros rebaixos de 25 ou 30cm, sendo dispensáveis- os rebaixos de copas e cozinhas.

Os rebaixos de varanda têm, em geral, 5cm, sendo que este tipo de rebaixo não leva enchimento. Nas varandas constituídas por lajes em balanço, será preferível não usar rebaixo, para evitar emprego de um detalhe complicado de armadura negativa, quando há diferença de nível entre a laje do balanço e a laje vizinha.

#### **Carga das lajes armadas em uma direção**

Estudada a determinação da carga que atua em cada metro quadrado de laje, supomos conhecida essa carga, que designaremos pela letra *p*.

Com o fim de simplificar o cálculo das lajes, vamos dividi-las em uma série de faixas de largura igual a 1 metro, que imaginamos independentes entre si. Nas lajes armadas em cruz, consideraremos duas séries de faixas, segundo as direções perpendiculares *z* e *y*.

As lajes armadas em uma direção são calculadas como apoiadas nesta direção. Procedemos desta maneira, para as lajes cuja relação entre o maior e o menor vão é maior que 2.

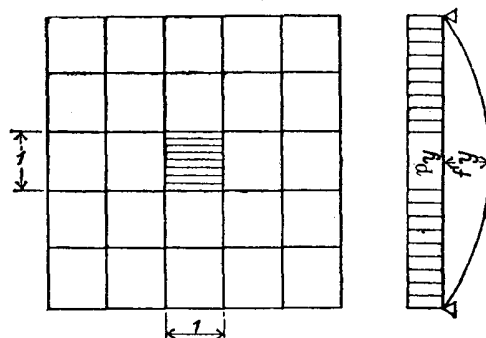
A carga que atua por metro corrente na faixa de largura igual a 1 metro é a mesma carga *p*.

#### **Carga das lajes armadas em cruz**

Consideram-se como armadas em duas direções ou armadas em cruz, as lajes em que a relação entre o maior e o menor vão não é maior do que 2, como já foi dito. Estudaremos os dois casos: lajes isoladas e lajes contínuas.

lajes isoladas

Suponhamos uma laje isolada apoiada em 4 paredes ou vigas e dividamo-la em duas séries de faixas ortogonais de 1 metro de largura (**Figura 12**).



**Figura 12**

<sup>4</sup> Quando existirem paredes nas duas direções e irregularmente dispostas, será necessário estudo especial em cada caso. Aproximadamente, podemos supor o peso total das paredes distribuído uniformemente sobre a laje, na região onde atuam as paredes.

### Atividade resolvida

Seja calcular a carga por metro quadrado do piso para habitação comum dado na figura abaixo:

Dados:

Armadura aço comum

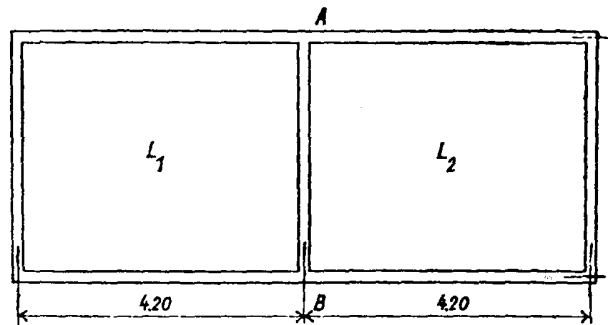
$l_x=4,20\text{m}$

$l_y=3,50\text{m}$

$l_x / l_y=1$        $\psi_2 =$

$l_x / l_y=2$        $\psi_2 =$

Relação dos vãos  $l_x / l_y$  da laje =



Interpolação:

cálculo de  $d=$

$c=d'= 1\text{cm}$

$h=d+d'$

1-sobrecarga

2-peso da pavimentação

3-peso próprio