

LAJES NERVURADAS

Sem dúvidas a tendência atual em construções civis é a de aumentar os vãos livres entre pilares. A revista *Techne* (Ed. 72 de 11 de março de 2003) traz um artigo relacionando esta tendência nacional, e por que não mundial. É lógico, que tal tendência está baseada principalmente no desenvolvimento de novos materiais ou na melhoria das propriedades mecânicas dos materiais aço e concreto.

Também tal mudança ou tendência, deve-se ao desenvolvimento de novas tecnologias, ou ao aperfeiçoamento das técnicas construtivas com é o caso da protensão tanto com aderência inicial como com aderência final.

É notório também, associado a este fenômeno, o surgimento e /ou potencialização das alternativas como as lajes nervuradas e lajes cogumelos, sem e com protensão.

Lajes Nervuradas

Como é conhecido, no caso do concreto armado, o concreto é responsável pela absorção dos esforços de compressão oriundos da flexão. Já ao aço é atribuída a função de absorver os correspondentes esforços de tração. Admite-se, em geral, que o concreto tem pequena resistência aos esforços de tração, e por isso, é geralmente desprezada a sua colaboração na resistência a tais esforços.

Existe assim uma região de concreto que não colabora na resistência aos esforços principais, é claro que essa zona é importante para garantir a tão necessária aderência entre esses dois materiais. Tal região é considerada inerte na resistência, e, portanto, poderá ser reduzida, diminuindo assim o peso próprio da laje e da estrutura em geral.

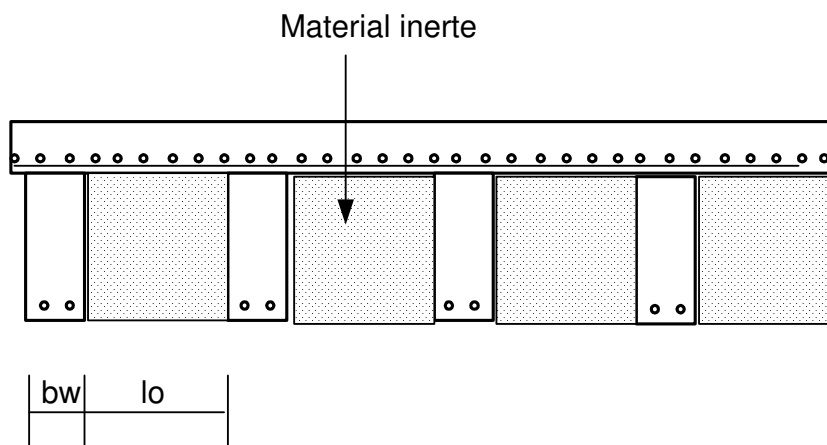
Algumas décadas atrás era comum substituir parte do concreto tracionado por material inerte mais leve, como é o caso de tijolos furados, de placas de isopor, etc. Atualmente, com o desenvolvimento de formas de materiais plásticos é possível usar formas de fácil remoção deixando determinados espaços vazios na região tracionada.

O descrito anteriormente é um resumo da origem e do porquê das lajes leves de concreto.

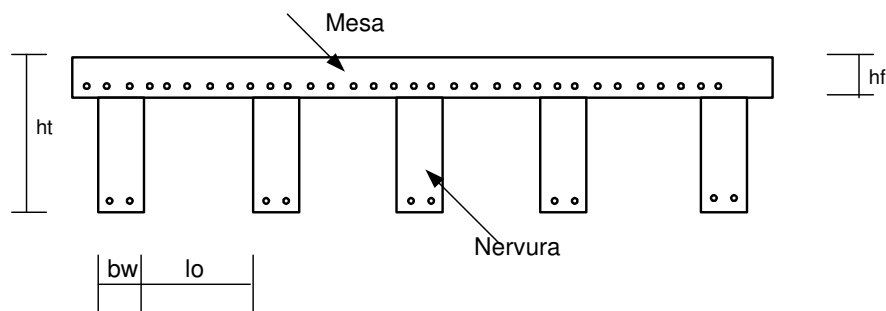
Para grandes vãos as espessuras de lajes que seriam necessárias tornam quase proibitivo seu uso, pois gerariam grandes volumes de concreto e seu corresponde grande peso.

As lajes nervuradas têm duas partes principais:

- 1- a mesa: que é a pequena camada de concreto comprimida.
- 2- os nervos: que são as regiões tracionadas onde é localizada armadura necessária de tração.



Em geral, as diversas normas mundiais permitem o cálculo das lajes nervuradas como se fossem maciças, desde que respeitados determinados critérios de espessuras e espaçamentos dos nervos.



A NBR6118/2004 fixa os seguintes critérios:

a) A distância entre os eixos das nervuras não deve ultrapassar 110 cm, isto é:

$$l_0 + b_w \leq 110 \text{ cm}$$

b) A largura das nervuras não deve ser inferior a 5 cm e a espessura da mesa, quando não houver tubulações horizontais embutidas, não deve ser menor que 3 cm nem que 1/15 da distância entre nervuras. O valor mínimo de 3 cm para a espessura da mesa passa para 4 cm quando existirem tubulações embutidas de diâmetro máximo 12,5 mm.

c) Não é permitido armadura de compressão em nervuras de largura inferior a 8 cm.

d) A resistência à flexão da mesa deverá ser verificada sempre que a distância entre os eixos de nervuras for maior que 65 cm. Se a distância entre eixos de nervuras for menor ou igual a 65 cm, pode-se adotar uma armadura mínima para a mesa, sem a necessidade de dimensionamento.

e) Se a distância entre eixos de nervuras for maior que 65 cm, elas deverão ser verificadas ao cisalhamento como vigas. Nesses casos, as nervuras deverão ter estribos, obrigatoriamente. Se essa distância for menor ou igual a 65 cm, as nervuras podem ser verificadas ao cisalhamento como lajes.

f) Os estribos das nervuras, quando necessários, devem ter um espaçamento máximo de 20 cm.

A NBR6118 permite que as lajes nervuradas sejam calculadas como se fossem lajes maciças de espessura equivalente, portanto podem ser aplicadas as hipóteses da teoria de placa de Kirchhoff.

Quando o espaçamento entre eixos de nervuras for maior que 110 cm, a mesa deve ser projetada como laje maciça apoiada na grelha de vigas.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE LAJE NERVURADA EM DUAS DIREÇÕES

Dimensionar uma laje nervurada com nervuras em duas direções, sendo os vãos de cálculo de 9,25m e 10,25m nas direções x e y respectivamente. Está previsto usar concreto de $f_{ck} = 20 \text{ Mpa}$ e aço CA50. Os cantos das nervuras estão afastados 50 cm. Sendo a largura proposta para elas de 10 cm, a distância entre eixos de nervuras fica em 60 cm.

Pré-dimensionamento:

Segundo Araújo ::: $d = l_x/30 = 9,25/30 = 30,83 \text{ cm}$::: $h_t = 35 \text{ cm}$.

Área : $0,60 \text{ m} \times 0,60 \text{ m} = 0,360 \text{ m}^2$.

Volume: $0,360 \times 0,35 - 0,50 \times 0,50 \times 0,30 = 0,51 \text{ m}^3$.

Peso total: $0,51 \text{ m}^3 \times 2,5 \text{ KN/m}^3$.

Peso próprio: $1,27 / 0,36 = 3,54 \text{ KN/m}^2$

Este peso corresponderia a uma laje maciça de 14,16 cm.

Considerando um peso de 1 KN/m^2 para revestimentos:

$$q_q = 4,54 \text{ KN/m}^2$$

$$q_p = 2,00 \text{ KN/m}^2$$

$$q_t = 6,54 \text{ KN/m}^2$$

Estrutura de Concreto Armado DRB

Da tabela correspondente: com $l_x/l_y = 0,902$

$$M_x = 0,001 \times 52,8 \times 6,54 \times 9,25^2 = 29,54 \text{ KNm/m}$$

$$M_y = 0,001 \times 45,0 \times 6,54 \times 9,25^2 = 25,18 \text{ KNm/m}$$

$$R_x = 0,001 \times 256 \times 6,54 \times 9,25 = 154,86 \text{ KN/m}$$

$$R_y = 0,001 \times 270 \times 6,54 \times 9,25 = 163,33 \text{ KN/m}$$

Com os momentos e reações calculados acima:

$$M_x = 0,60 \times 29,54 =$$

$$M_y = 0,60 \times 25,18 =$$

$$R_x = 0,60 \times 15,486 \text{ KN/m} = 9,29 \text{ KN/m}$$

$$R_y = 0,60 \times 16,333 \text{ KN/m} = 9,80 \text{ KN/m}$$

Para seção T com: $b_w = 10 \text{ cm}$, $d = 31 \text{ cm}$, $d' = 3 \text{ cm}$, $b_f = 60 \text{ cm}$ e $h_f = 5 \text{ cm}$:

$$A_{sx} = 1,88 \text{ cm}^2 \text{ (2 barras de 12,5 mm)}$$

$$A_{sy} = 1,60 \text{ cm}^2 \text{ (2 barras de 10 mm)}$$

Como a distância entre eixos de nervuras é menor que 65 cm:

$$A_{s \text{ mesa}} = 0,15 \times h_f = 0,15 \times 5 = 0,75 \text{ cm}^2$$

Verificação ao corte das nervuras:

$$V_{dx} = 9,29 \times 1,4 = 13 \text{ KN}$$

$$V_{dy} = 9,80 \times 1,4 = 13,72 \text{ KN}$$

$$\tau_{wdx} = 13 \text{ KN} / (10 \text{ cm} \times 31 \text{ cm}) = 0,0419 \text{ KN/cm}^2 = 0,419 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{wdy} = 13,8 \text{ KN} / (10 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}) = 0,046 \text{ KN/cm}^2 = 0,46 \text{ Mpa}$$

$$\rho_{1x} = 2,54 \text{ cm}^2 / 10 \times 31 = 0,00790$$

$$\rho_{1y} = 1,57 \text{ cm}^2 / 10 \times 30 = 0,00523$$

$$\tau_{rd} = 0,038 \times (25)^{2/3} = 0,325 \text{ Mpa}$$

$$K = 1,6 - 0,31 = 1,29$$

$$\tau_{wu1x} = 1,29 \times (1,2 + 40 \times 0,00790) \times 0,325 = 0,635 \text{ Mpa}$$

$$\tau_{wu1y} = 1,30 \times (1,2 + 40 \times 0,00523) \times 0,325 = 0,595 \text{ Mpa}$$

Como:

$$\tau_{wdx} < \tau_{wu1x}$$

$$\tau_{wdy} < \tau_{wu1y}$$

Não será necessária armadura de corte (estribos) nas nervuras.

EXEMPLO DE CÁLCULO DE LAJE NERVURADA EM UMA DIREÇÃO

Dimensionar uma laje nervurada contínua de largura 7,00 m, os vãos de cálculos são 5,70 m e 6,80 m respectivamente.

Foi realizada a análise de cargas chegando-se a um valor total de 7KN/m^2 . (incluindo peso próprio e sobrecarga)

O concreto a ser usado tem f_{ck} de 20 Mpa, o aço é o CA-50

A distância livre entre nervuras é de 70 cm, a altura total da laje é de 25 cm com uma mesa de 4 cm. Os nervos serão de 12 cm de largura.

Trecho A-B : $M_{\text{máx}} = 13,6 \text{ KNm/m}$; para a distância de 0,82 m :: $M_{\text{máx}} = 11,15 \text{ KNm/m}$

Trecho B-C : $M_{\text{máx}} = 24,96 \text{ KNm/m}$; para a distância de 0,82 m :: $M_{\text{máx}} = 20,42 \text{ KNm/m}$

Apóio B :: $M = 35,00 \text{ KNm/m}$, para uma nervura :: $M = 28,7 \text{ KNm/m}$

Do dimensionamento, com $d = 22 \text{ cm}$, e $d' = 2 \text{ cm}$:

$A_{S_{A-B}} = 1,87 \text{ cm}^2$ (2 Φ 12,5 mm + 1 Φ 6,3 mm)

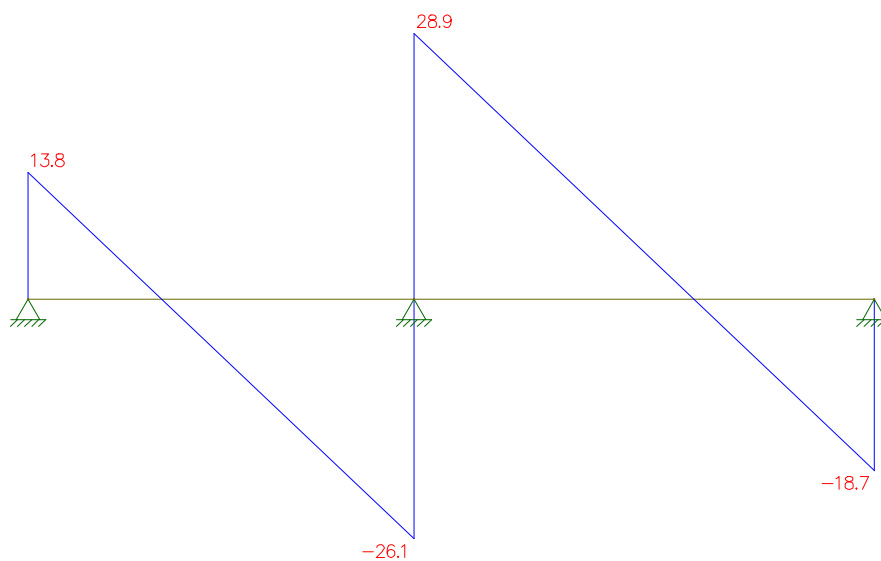
$A_{S_{B-C}} = 3,95 \text{ cm}^2$ (2 Φ 16 mm)

$A_{S_B} = 5,28 \text{ cm}^2$ (2 Φ 16 mm e 1 Φ 12,5 mm) e $A_{s'_B} = 1,57 \text{ cm}^2$ (2 Φ 10 mm)

Verificação ao corte das nervuras:

$V_d = 28,9 \times 0,82 \times 1,4 = 33,17 \text{ KN}$

$\tau_{wd} = 33,17 \text{ KN} / (12 \text{ cm} \times 22 \text{ cm}) = 0,1256 \text{ KN/cm}^2 = 1,256 \text{ Mpa}$



$\rho_1 = 3,95 \text{ cm}^2 / 12 \times 22 = 0,01496$

$\tau_{rd} = 0,038 \times (20)^{2/3} = 0,280 \text{ Mpa}$

$K = 1,6 - 0,22 = 1,38$

$\tau_{wu1} = 1,38 \times (1,2 + 40 \times 0,01496) \times 0,280 = 0,965 \text{ Mpa}$

Como:

$$\tau_{wd} > \tau_{wu1}$$

Será necessária armadura de corte (estribos) nas nervuras (conforme visto para vigas).

Verificação da mesa:

lo da mesa = 0,82m :: $M = ql^2/8 = 0,588 \text{ KNm/m}$

Com $h_f = 4 \text{ cm}$:: $d = 2,5 \text{ cm}$:: $A_{S_{\text{mesa}}} = 0,79 \text{ cm}^2/\text{m}$ (1 Φ 4,2 c/ 20 cm)

Estrutura de Concreto Armado DRB