

VIGAS DE ALMA VAZADA

(*) ROSEANE O. MEDEIROS
(**) JOÃO E. L. MEDEIROS

Neste artigo, faz-se uma abordagem geral sobre aberturas para tubulações em vigas de concreto armado de seção retangular. Discutem-se alguns aspectos do dimensionamento e apresenta-se um exemplo prático de aplicação.

1. INTRODUÇÃO

Em conseqüência do aumento progressivo do custo da construção civil, tem sido exigida com maior freqüência, a utilização de aberturas nas peças de concreto armado para passagem das tubulações elétricas, hidro-sanitárias ou, ainda, tubulações para climatização.

Ao se projetar uma abertura qualquer numa peça de concreto armado, deve-se verificar o efeito desta abertura, na resistência e na deformação de modo a atender os limites impostos pelas normas técnicas. De acordo com a NB-1/78, esta verificação poderá ser dispensada, no caso de vigas, quando as aberturas as atravessarem na direção da espessura, havendo apenas uma em cada meio tramo, situadas a uma distância, da face do apoio, maior do que $2h$ e em zona de tração, com dimensão transversal não superior a 12cm nem a $h/2$, não interceptando qualquer barra de armadura e respeitando as exigências de cobrimento da armadura. (V. Fig. 1).

(*) Engenheira Civil, M. Sc – Professora Assistente da UNIFOR

(**) Engenheiro Civil, M. Sc – Diretor Técnico de J. R. MEDEIROS ENG. ASS. LTDA.

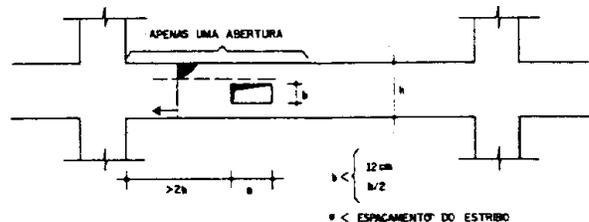


FIG. 1 - IMPOSIÇÕES DA NB-1 / 78 PARA DISPENSAR A VERIFICAÇÃO DOS EFEITOS DE FUROS EM VIGAS.

Nos trechos onde existe força cortante, só se podem executar furos caso permaneçam na alma da viga, as bielas de compressão importantes ou pórticos fechados suficientemente rígidos. (Fig. 2a - c).

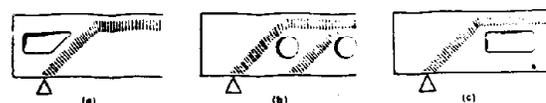


FIG. 2 - VIGAS COM ABERTURA NA ALMA.

2. LIMITES PARA DIMENSIONAMENTO DE VIGAS COM FUROS

O dimensionamento de vigas com aberturas na sua alma deverá ser efetuado até determinados limites, que serão discutidos mais adiante, como sendo uma viga maciça (sem furos), admitindo-se, inclusive na região da abertura, a validade da hipótese das seções planas. Localmente, a abertura é estudada em separado. Ultrapassados estes limites o cálculo estático da peça deverá ser feito através da discretização da viga por elementos finitos de barra, trabalhando-se com um quadro hiperestático fechado (pórtico plano), podendo-se, ainda, chegar a casos especiais de discretização por elementos finitos de chapa.

O presente trabalho dará enfoque apenas ao estudo da viga na região do furo, admitindo-se os limites indicados na Fig. 3. Esta limitação procura assegurar que os momentos que surgem à esquerda da região do furo, sejam aproximadamente iguais aos que se verificam à direita. Deve-se evitar sempre a variação brusca ou acentuada do momento na região do furo. A experiência tem demonstrado que em vigas retangulares com furos e adequadamente armadas, atinge-se a mesma carga de ruptura à flexão que no caso de vigas sem abertura (V. Ref. 3). Deve-se lembrar, contudo, que os furos diminuem a rigidez da viga. Ainda com relação à Figura 3, a distância mínima entre o fundo da viga e o furo, limitada a 10 cm, tem por finalidade assegurar a formação de um tirante onde estaria contida a armadura de flexão.

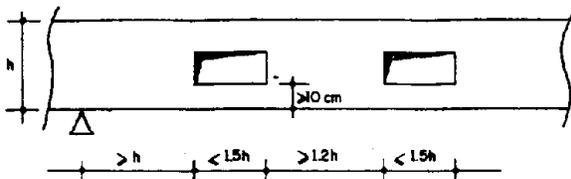


FIG.3 - LIMITAÇÃO PARA VIGAS COM FUROS.

3. ANÁLISE DO COMPORTAMENTO LOCAL DO FURO

A análise do comportamento local do furo é a mais simples possível. De acordo com a figura 4, o momento fletor na região do furo, devido à flexão da viga, é transmitido pelas resultantes D_d e Z_d no concreto e no aço, respectivamente. O esforço cortante total, Q_d , devido ao cisalhamento, é dividido em duas parcelas, proporcionais aos momentos de inércia das partes superiores e inferiores ao furo, de acordo com as relações seguintes:

$$K_{sup} = \frac{h_1^3}{h_1^3 + h_2^3} \quad K_{inf} = \frac{h_2^3}{h_1^3 + h_2^3}$$

Nota-se que a parte superior trabalha como uma seção maciça, comprimida pela flexão, ao passo que a parte inferior, tracionada pela flexão, é admitida como completamente fisurada, trabalhando exclusivamente em função da armadura existente. Sendo assim, a parcela do cortante absorvida pela parte superior é infinitamente maior que a da parte inferior, de forma que se pode supor $Q_{1d} = Q_d$ e a favor da segurança, $Q_{2d} = 0,1 \times Q_d$

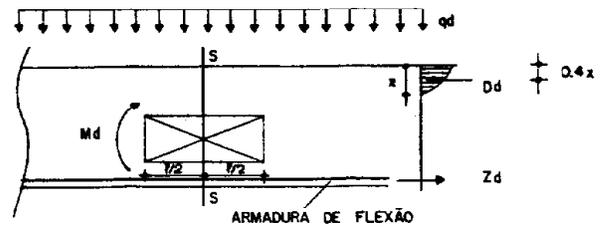


FIG. 4 - ESFORÇOS NA VIGA COMO SEÇÃO MACIÇA.

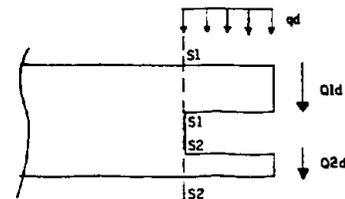


FIG.5 - INTERSEÇÃO DA VIGA POR UM PLANO NO EIXO DO FURO.

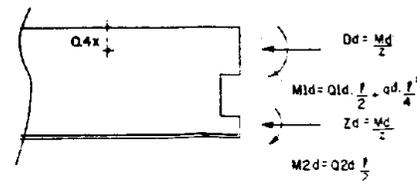


FIG.6 - ESFORÇOS SOLICITANTES PARA DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO DO FURO.

4. DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES DO FURO

Agora, far-se-á o dimensionamento das seções "S1" e "S2" (V. fig. 5), submetidas a uma flexão composta. A seção "S1" está submetida a um esforço normal D_d , aplicado a $0,4x$ do bordo mais comprimido (V. fig. 4) e a um momento fletor

$$M_{1d} = Q_{1d} \frac{l}{2} + q_d \frac{l^2}{4} \quad (\text{V. fig. 6}).$$

Analogamente, a seção "S2" está sujeita a um esforço normal Z_d , aplicado ao nível da armadura de flexão, e um momento fletor

$$M_{2d} = Q_{2d} \frac{l}{2}$$

A partir dos esforços calculados acima, faz-se o dimensionamento das armaduras necessárias. Por simplicidade, costuma-se adotar para o cisalhamento $\tau_c = 0$, para tração e $\tau_c = \psi_1 \sqrt{f_{ck}}$, para compressão. Recomenda-se, ainda, a adoção de armaduras simétricas na região do furo, principalmente com a finalidade de evitar enganos, quando da armação.

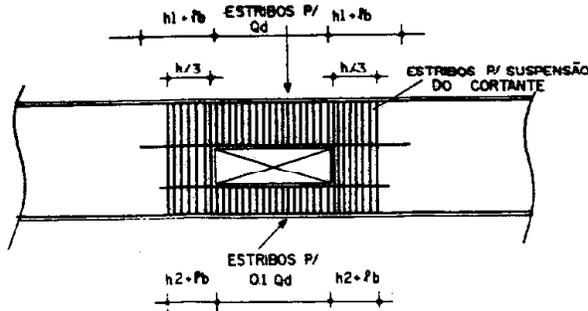


FIG.7 - DETALHE DA ARMADURA DE REFORÇO DO FURO.

Dentro do que já foi descrito, é correto buscar-se valores bem baixos para h_2 no intuito de se garantir que a parte superior transmita a quase totalidade do cortante, no caso da posição da abertura interceptar a região comprimida da viga, deve-se utilizar armadura de compressão, na região do furo, de maneira que a linha neutra caia acima da parte vazada.

5. OBSERVAÇÕES FINAIS

Deve-se prever armaduras de suspensão, junto ao furo, colocadas em torno de 1/3 da altura da viga. (V. Fig. 7).

As aberturas circulares são mais favoráveis do que as com ângulos reentrantes, deve-se procurar, sempre que possível, utilizar ângulos arredondados. No lado dos furos mais próximos do apoio, recomenda-se usar apenas 1 a 3 estribos de suspensão.

Alguns autores adotam para comprimento nominal do furo, o maior dos seguintes valores: (V. Fig. 8).

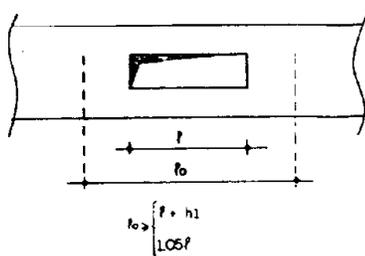


FIG.8 - COMPRIMENTO NOMINAL DO FURO.

6. EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Detalhar a armadura de reforço para o furo da viga abaixo, empregando aço CA - 50A e concreto $f_{ck} = 150 \text{ kg/cm}^2$.

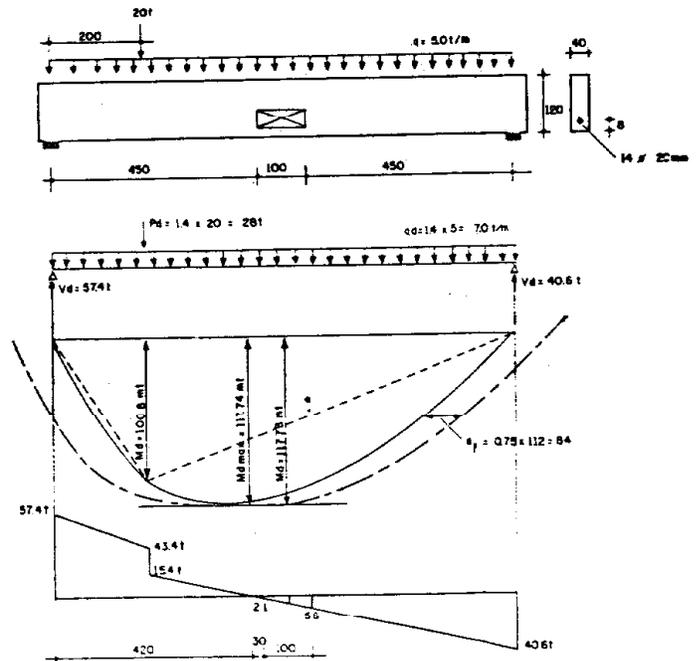


FIG.9 - EXEMPLO.

A) VERIFICAÇÃO SE O FURO NÃO INTERCEPTA A REGIÃO COMPRIMIDA

Utilizando-se a tabela para dimensionamento da seção retangular, para solicitação de serviço (V. Ref. 4).

$$K_{II} = \frac{d}{\sqrt{\frac{M_d}{b \omega}}} \quad \therefore \quad \begin{aligned} d &= \text{altura útil da viga (cm)} \\ M_d &= \text{momento fletor de serviço (t.m)} \\ b \omega &= \text{largura da viga (m)} \end{aligned}$$

B) ESFORÇOS SOLICITANTES NA SECÇÃO QUE PASA PELO EIXO DO FURO

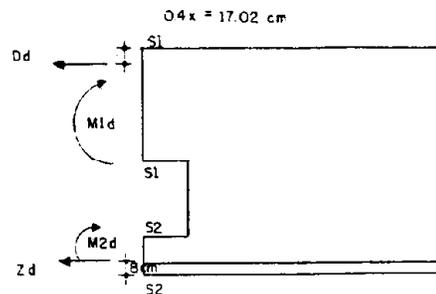


FIG.10 - ESFORÇOS SOLICITANTES NO EIXO DO FURO

$$D_d = Z_d = \frac{117,73}{(1,20 - 0,1702 - 0,08)} = 123,95 \text{ t}$$

$$M_{1d} = 5,6 \times 0,50 + 7,0 \times \frac{0,50^2}{2} = 3,675 \text{ t.m}$$

$$M_{2d} = 0,1 \times 5,6 \times 0,50 = 0,28 \text{ t.m}$$

Reduzindo-se os esforços solicitantes ao eixo de

$$S_1 - S_1 \text{ e } S_2 - S_2$$

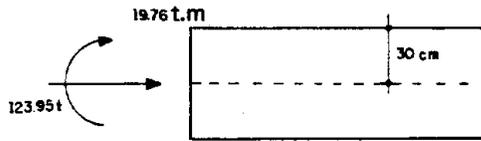


FIG.11 - REDUÇÃO AO EIXO DE S1-S1.

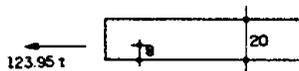


FIG.12 - CENTRO DE ATAQUE EM S2 - S2.

C) DIMENSIONAMENTO DAS SEÇÕES $S_1 - S_1$ e $S_2 - S_2$ À FLEXÃO E AO CISALHAMENTO

*Flexão

1. - Seção $S_1 - S_1$

Empregando-se ábacos para dimensionamento de seção retangular submetida à flexão composta reta, com armadura distribuída em dois lados (V. ref. 5), tem-se:

$$\gamma = \frac{123,95}{0,40 \times 0,60 \times \frac{1500}{1,4}} = -0,48$$

$$\mu = \frac{19,76}{0,40 \times (0,60)^2 \times \frac{1500}{1,4}} = 0,13$$

Obtém-se, então, $W = 0,08$ e A_s total = $0,08 \times 40 \times 60 \times \frac{1500}{1,4 \times 4200} = 4,90 \text{ cm}^2$. correspondendo a 2,45

cm^2 em cada bordo, prevalecendo, contudo, as armaduras mínimas de flexão como reforço, iguais a

$$\frac{0,15}{100} \times 40 \times 60 = 3,6 \text{ cm}^2$$

em cada bordo da seção $S_1 - S_1$ (adotados 3 \emptyset 12,5 mm).

2. Seção $S_2 - S_2$

Em termos teóricos, a seção $S_2 - S_2$ deve ser dimensionada

para a flexo tração. No exemplo em estudo, todavia, o momento M_{2d} é muito pequeno e pode ser desprezado. Coloca-se contudo, uma armadura no bordo superior de $S_2 - S_2$ visando limitar a fissuração. Adotou-se para este fim, 3 \emptyset 10 mm uma vez que, na periferia de peças em regiões intensamente tracionadas, o espaçamento entre as barras não deve superar a 15 vezes o diâmetro da bitola escolhida.

*Cisalhamento

1. Seção $S_1 - S_1$

$$\tau_{wd} = \frac{5600}{40 \times 57} = 2,46 \text{ kg/cm}^2 <$$

$$\left\{ \begin{array}{l} 0,25 f_{cd} = 26,79 \text{ kg/cm}^2 \\ \psi_1^1 \sqrt{f_{ck}} = 4,75 \text{ kg/cm}^2 \end{array} \right.$$

$$\therefore \rho = \frac{A_s}{A_c} = 0,0092 \rightarrow \psi_1 = 0,3878$$

Como $\tau_{wd} < \psi_1 \sqrt{f_{ck}}$, não é necessário calcular armadura de cisalhamento. Adota-se, portanto, o valor mínimo, igual a $0,14 \times 40 = 5,6 \text{ cm}^2/\text{m}$ (\emptyset 6,3 mm a cada 10 cm).

D) DETALHE DA ARMADURA DE REFORÇO DO FURO

Finalmente, tem-se que a armadura de reforço do furo da viga em estudo estará de acordo com o detalhe da figura 13.

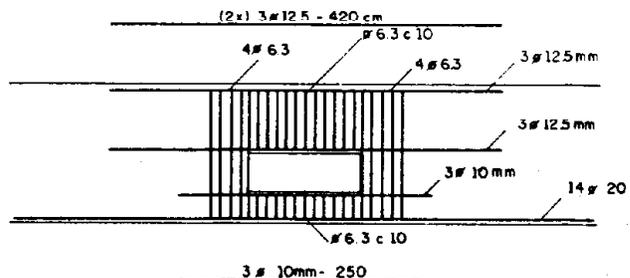


FIG.13 - ARMADURA DE REFORÇO DO FURO.

7. BIBLIOGRAFIA

1. FRANCO, M. A.: Notas de Aula do curso "Projeto de Edifícios Altos em Concreto Armado", Fortaleza, 1986.
2. LEONHARD, F.; Monning, E Construções de Concreto - 3o. Vol. Princípios básicos sobre a armação de estruturas de concreto armado. 1a. Edição - Rio de Janeiro, 1978.
3. NASSER, K. W.; Acavalos, A; Daniel, H. R.: Behavior and Design of Large Openings in Reinforced Concrete Beams. Journal ACI, Proc. Vol. 64 (1967) no. 1, pág. 25 - 33.
4. SUSSEKIND, J. C.: Curso de Concreto. Vol. I - Rio de Janeiro (1980).
5. SUSSEKIND, J. C.: Curso de Concreto. Vol. II. Rio de Janeiro, (1984).