

# INFLUÊNCIA DE FUROS NÃO PREMEDITADOS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO\*

Guilherme Bernardo da Silva <sup>1</sup>

Érika Elis Kuo <sup>1</sup>

Marcelo Costa Choukri <sup>2</sup>

Márcio de Moraes Tavares <sup>3</sup>

Willy Ank de Moraes <sup>4</sup>

## Resumo

Furos não planejados são comumente executados em vigas sem as devidas precauções no momento de sua execução. Para se realizar um furo sobre um elemento estrutural, deve-se realizar primeiro um planejamento, para então definir os critérios de efetivação e dimensionamento estrutural conforme a NBR 6118:2014, já que tais furos podem acabar interferindo no comportamento estrutural da viga. Deste modo, o presente trabalho tem como propósito o estudo da influência dos furos nas vigas de concreto armado a fim de analisar se o elemento estrutural sofre uma perda na sua resistência pelo fato do furo não ter sido planejado no momento do dimensionamento da viga. Para a realização deste trabalho foram dimensionadas três vigas de concreto armado e executados os furos com as vigas carregadas e posterior análise das fissuras geradas na região dos furos. Para validação dos resultados obtidos todas as três vigas foram construídas e ensaiadas nas dependências da Universidade UNAERP. Os furos possuíam um diâmetro de 50mm e mesmo ocorrendo perda de área de aço em algumas vigas, estes não introduziram influência relevante na resistência das vigas.

**Palavras-chave:** Integridade Estrutural; Concreto Armado; Vigas Perfuradas.

## INFLUENCE OF NON-PREMEDITED HOLES IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

### Abstract

Unplanned holes are commonly drilled into beams without proper precautions at the time of their execution. In order to perform a hole on a structural element, a planning must first be carried out, to define the criteria of effectiveness and structural dimensioning according to NBR 6118: 2014, since these holes may end up interfering with the structural behavior of the beam. In this way, the present work has the purpose of studying the influence of the holes in the reinforced concrete beams in order to analyze if the structural element suffers a loss in its resistance because the hole was not planned at the moment of the beam sizing. For the accomplishment of this work three beams of reinforced concrete were dimensioned and executed the holes with the loaded beams and later analysis of the fissures generated in the region of the holes. In order to validate the results obtained, all three beams were constructed and tested at the UNAERP University. The holes had a diameter of 50mm and even if there was loss of steel area in some beams, these did not introduce a relevant influence on the strength of the beams.

**Keywords:** Structural Integrity; Reinforced Concrete; Perforated Beams.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil, curso de Engenharia Civil da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: guibernardo18@hotmail.com; erikakuo@hotmail.com.

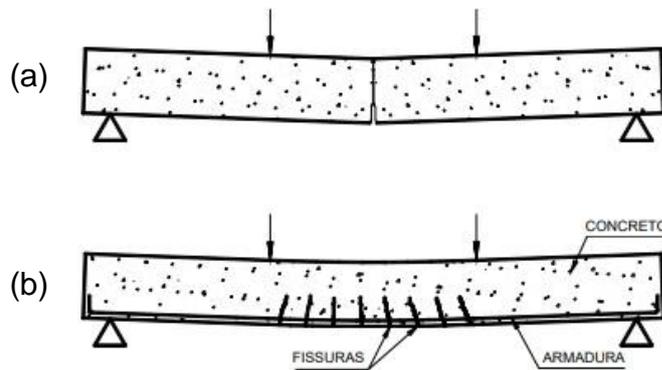
<sup>2</sup> Arquiteto, Engenheiro Civil, Especialista em concreto e Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mchoukri@unaerp.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Professor e Coordenador do Curso de Eng. Civil e da Pós-graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.

- <sup>4</sup> Técnico em Metalurgia, Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia de Materiais, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica e Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: [wmorais@unaerp.br](mailto:wmorais@unaerp.br).

## 1 INTRODUÇÃO

De modo geral classifica-se como concreto armado um elemento estrutural na qual ocorre a união do concreto com uma proteção passiva. Tal proteção não precisa ser necessariamente o aço, podendo ser um material distinto deste metal, tal como a fibra de carbono e o bambu. Porém, estes reforços devem apresentar características suficientes para que, junto ao concreto, resistir a esforços de tração os quais supostamente serão solicitados pela estrutura [1]. O resultado da presença do reforço no concreto armado está apresentado na Figura 1.



**Figura 1.** Comparação entre vigas de (a) concreto simples (não reforçado) e (b) concreto armado.

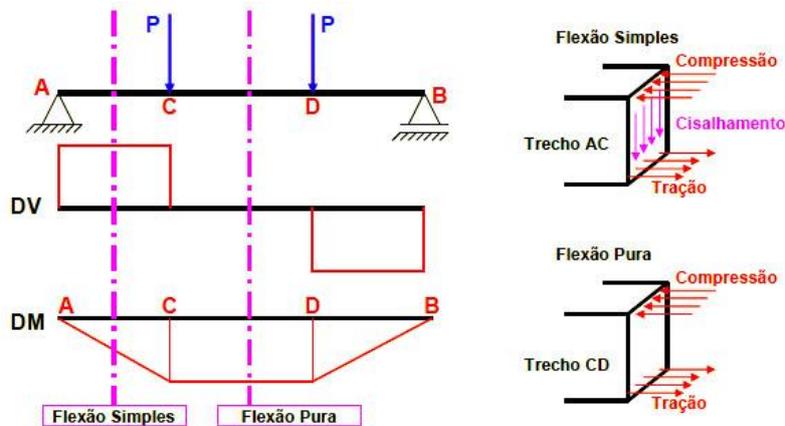
Furos em as vigas de concreto armado podem ser necessários para passagem de tubulações, dutos, eletrodutos e conduítes. Porém a execução de um furo sobre uma viga, sem o respectivo dimensionamento de projeto, pode levar ao comprometimento da resistência deste componente, ocasionando uma instabilidade estrutural na região onde o furo foi executado. A NBR 6118 [2] contém diretrizes para auxiliar na execução dos furos em elementos estruturais. A Figura 2 ilustra uma viga fora das exigências da NBR 6118 [2], na qual foram feitos diversos furos com diâmetros variados. Tais interferências ocorrem normalmente devido à falta de comunicação, e até mesmo negligência, entre os responsáveis pelo desenvolvimento do projeto arquitetônico e pela execução da obra.



**Figura 2.** Furos realizados para passagem de tubulações através de uma viga de concreto armado.

Na maioria das vezes o local mais indicado para a execução dos furos seria na linha neutra da viga, porém essa tese não é totalmente verdadeira pela presença de esforços de cisalhamento nas seções reta deste componente submetidas a flexão simples, conforme ilustrado na Figura 3. Segundo Mansur & Tan [3], furos

executados sobre uma estrutura acabam tornando esse elemento estrutural mais complexo devido a sua modificação em sua seção. Nesse caso, os furos atuam como concentradores de tensão prejudicando a rigidez e resistência estrutural da viga.



**Figura 3.** Condições de carregamento mecânico nas seções retas de vigas em flexão simples e pura.

Caso seja necessário realizar introduzir um furo na estrutura, os mesmos devem ser definidos em projeto, sendo calculados levando em consideração os esforços e tensões atuantes sobre a viga. O projeto deverá conter informações sobre as dimensões desta interferência (diâmetro do furo) nos detalhamentos arquitetônicos e ser executado em conformidade com este. Para viabilizar a presença desta interferência (furo) é necessário estipular uma armadura adaptada, reforço no local do furo ou da futura abertura, conforme ilustrada na Figura 4. Tal armadura é projetada [2] para compensar a alteração nas tensões presentes na seção no local onde o furo foi executado sobre a estrutura.



**Figura 4.** Reforço na armadura ao redor de uma futura abertura para passagem de dutos.

As aberturas circulares são mais aceitáveis que aberturas com outras geometrias, pois ao realizar seus vértices devem ser os mais arredondados o possível [2]. Em qualquer caso deve-se respeitar uma distância mínima de 5 cm, ou duas vezes o

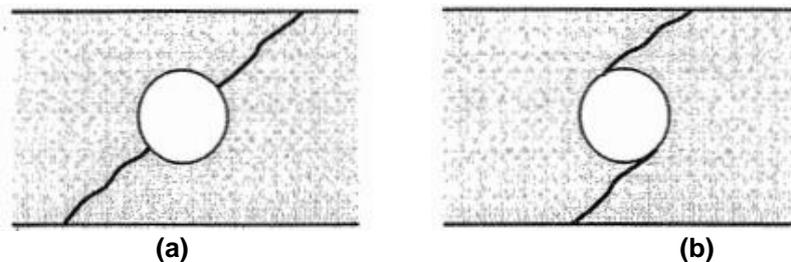
cobrimento previsto, entre o furo à face mais próxima da viga. A seção nessa região deve ser descontada da área ocupada pelo furo e tem por obrigação resistir aos esforços previstos no cálculo além de permitir uma boa concretagem. Caso seja necessário realizar uma abertura em uma viga já pronta, a NBR 6118 [2] solicita que, considerando-se  $h$  como sendo a altura da viga:

1. os furos na zona de tração devem distanciar-se da face no mínimo de  $2h$ ;
2. a dimensão do furo deve ter, no máximo, 12 cm de diâmetro ou  $h/3$ ;
3. a distância entre faces de furos, em num mesmo tramo, com no mínimo  $2h$ ;
4. que existam cobrimentos suficientes e o não seccionamento das armaduras.

Caso a abertura realizada na viga respeite os 4 limites descritos, o dimensionamento da estrutura poderá ser feito como se tivesse uma viga maciça, sem furos.

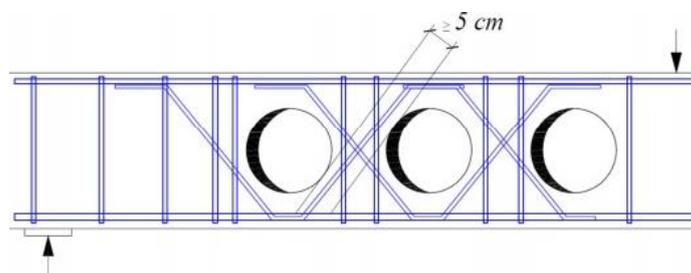
Uma viga que possua uma abertura (furo) poderá sofrer dois tipos de cisalhamento:

- Cisalhamento tipo feixe - ilustrado na Figura 5.a e representado por uma fissura passando pelo centro da abertura;
- Cisalhamento tipo feixe - apresentado na Figura 5.b, levando à formação de duas trincas diagonais ao contornando a abertura



**Figura 5.** Diferentes tipos de trinca por cisalhamento: (a) tipo feixe e (b) tipo estrutural [3].

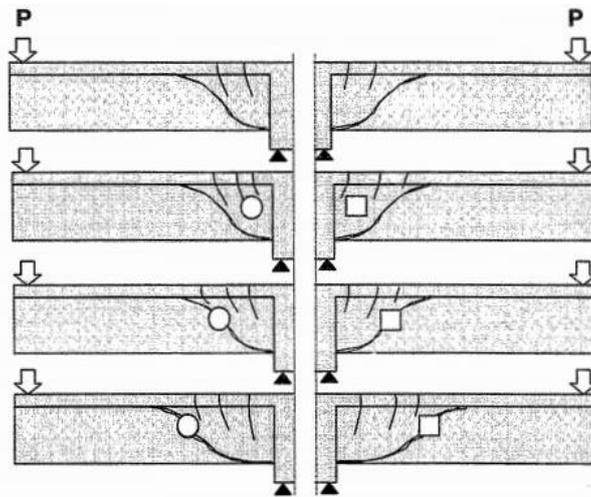
Sabendo as forças cortantes e axiais de cada membro torna-se possível projetar a estrutura de modo a resistir ao cisalhamento. Assim, para se reproduzir aberturas circulares, situadas umas próximas as outras, na alma das vigas, torna-se necessário determinar a distância entre elas a fim de gerar uma treliça com a armação, conforme ilustrado na Figura 6, de modo que suas diagonais comprimidas e tracionadas se cruzem entre as aberturas.



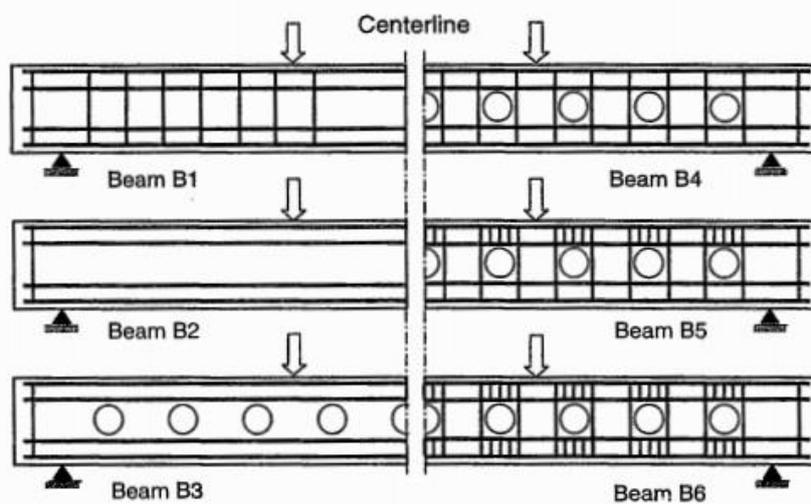
**Figura 6.** Viga com presença de três furos com reforço treliçado ao redor das aberturas [4].

O cisalhamento em uma viga pode ser associado a um momento fletor devido à presença de fissuras no concreto. Caso ocorra a necessidade de realizar uma pequena abertura no elemento, recomenda-se que esta abertura seja efetuada próximo aos apoios da viga, de modo a diminuir os danos causados pela realização da abertura. A Figura 7 apresenta um resultado, obtido do estudo feito por Mansur e Tan [3] em algumas vigas com 2 tipos de aberturas: circulares e quadradas. Na

necessidade de realizar uma abertura sobre uma viga de concreto armado, é necessário elaborar um esquema de reforço, como os avaliados por por Mansur e Tan [3] e apresentados na Figura 8.



**Figura 7.** Falhas por aberturas típicas em vigas sem reforços [3].



**Figura 8.** Esquemas de reforços para vigas com aberturas [3].

Quando a estrutura é muito reforçada, a fim de se evitar o cisalhamento, o elemento pode sofrer uma falha por esmagamento do concreto. O cisalhamento máximo, aplicado sobre uma abertura para evitar falha por esmagamento, é determinado pelas seções acima e abaixo do furo [3].

As vigas que possuírem aberturas de grandes diâmetros, recomenda-se a utilização de barras diagonais em cada canto da abertura. Em estruturas com aberturas menores a solicitação do reforço para controle de fissura é que, seja fornecido aço como estribos para garantir a resistência adequada da viga. Esta quantidade de aço deve ser distribuída igualmente ambos os lados da abertura e aplicado uma quantidade igual perpendicular ao reforço afim de evitar confusão durante a execução do reforço e para prevenir de possíveis inversões de cargas

Com base no cenário apresentado, o presente trabalho teve como objetivo realizar um estudo sobre a influência de furos não previstos em vigas de concreto armado de modo a se analisar fissuras geradas em vigas perfuradas. Para isso, foram

realizadas simulações em vigas com a presença de furos previstos na etapa de montagem da armação de aço da viga e não previstos.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para realizar este trabalho foram dimensionadas três vigas de concreto armado calculadas para suportar uma carga concentrada de 4 toneladas, quando submetidas a condições de flexão simples (Fig. 3), através de um carregamento a três pontos de flexão, através de uma prensa hidráulica. No dimensionamento inicial das vigas não foi levado em consideração nenhum tipo de abertura ou furo sobre a viga. Os furos foram realizados após a viga receber seu carregamento padrão de cálculo (4.000 kgf) a fim de simular uma viga já com o seu real estado de aplicação. Após o furo ter sido finalizado, através de uma perfuratriz adequada, a viga foi carregada gradativamente a fim de realizar uma análise das avarias geradas no elemento pela presença dos furos realizados.

### 2.1 Materiais e Métodos

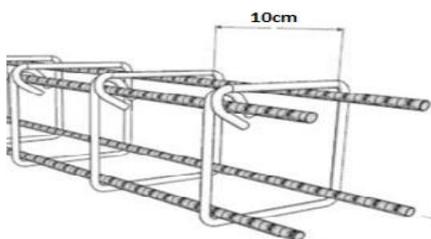
Para a confecção das vigas foi utilizado o centro tecnológico da UNAERP-Guarujá. O traço do concreto, utilizado na viga e apresentado na Tabela 1, foi definido para apresentar uma resistência de 25 MPa. Para chegar a sua resistência característica, o concreto passou por um tempo de cura de vinte e oito dias. Cada uma das 3 vigas preparadas, conforme o traço da Tab.1, apresentaram as seguintes dimensões:

- Comprimento, L: 1,4 m (1.400 mm);
- Largura, B: 0,15 m (150 mm);
- Altura, h: 0,25 m (250 mm);
- Massa, W: 125 kg (aprox.).

**Tabela 1.** Composição unitária para 1m<sup>3</sup> de concreto empregado neste estudo

Traço do concreto.	
Brita 1	518 kg
Brita 2	518 kg
Areia seca	780 kg
Cimento	340 kg
Água	204 litros
Fator água/cimento	0,6

Realizado todo o memorial de cálculo e dimensionamento da viga [2], deu-se início a montagem da armadura passiva e a fixação dos estribos ao longo do eixo horizontal dos vergalhões de aço com 12,5 mm de diâmetro. A Figura 9 apresenta o esquema geométrico de montagem dos vergalhões e a fixação dos estribos, constituídos de arames de aço com 6,3 mm de diâmetro.



(a)

(b)

**Figura 9.** Armadura das vigas empregadas neste estudo: (a) detalhamento e (b) armaduras prontas.

As formas utilizadas como gabarito para as vigas foram constituídas em madeira e ao alocar as armações nas formas, foram utilizados os retalhos dos vergalhões cortados como espaçadores entre a forma e a armação, de modo a respeitar um cobrimento de concreto mínimo estabelecido de 4 cm sobre o reforço de aço. O concreto foi adicionado às formas com o auxílio de um bastão metálico, para realizar o adensamento do concreto e evitar espaços vazios durante a concretagem.

Após os vinte e oito dias de cura das vigas, as mesmas foram desformadas e carregadas com 4.000 kgf através de uma prensa hidráulica a três pontos de flexão. Nessa condição, foram realizados os furos de 50 mm de diâmetro nos elementos, conforme ilustrado na foto da Figura 10. Após a introdução dos furos, analisou-se o seu comportamento estrutural, verificando-se as fissuras geradas pela sua presença.

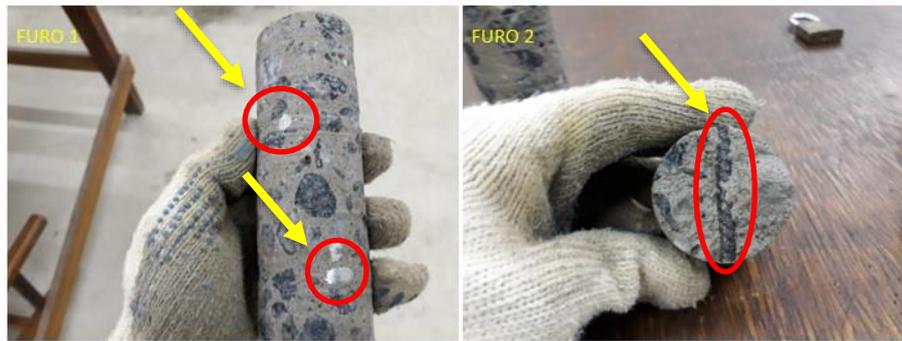


**Figura 10.** Montagem experimental empregada neste estudo: (a) perfuração feita na 1ª viga, sendo carregada pela prensa hidráulica e (b) detalhe da perfuração.

Foram obtidas 3 (três) vigas: 1, 2 e 3. Na Viga 1 foram realizados dois furos, ambos dentro dos padrões estabelecidos pela NBR 6118 [2]. O primeiro próximo a base de apoio a 100 mm de distância do comprimento total da viga e o segundo furo foi posicionado a 480 mm de distância da lateral da viga. A Viga 2 foi concretada com o posicionamento de um tubo de PVC, com diâmetro de 50 mm, a 500 mm da base de apoio. Já a Viga 3 foi perfurada bem ao centro do seu comprimento, a 700 mm de distância dos seus apoios. Todos os furos apresentaram 50 mm de diâmetro.

## 2.2 Resultados e Discussão

Os dois furos, com 50 mm de diâmetros e perfurados na Viga 1 (vide Fig. 10) geraram perda de área de aço nos estribos, conforme ilustrado nas fotos da Figura 11.



**Figura 11.** Evidências de estribos cortados na execução dos furos na Viga 1.

Assim, a introdução destes furos alterou a característica do espaçamento de 1 estribo a cada 100 mm para 1 estribo a cada 200 mm na região dos furos. Tal espaçamento é maior do que o máximo permitido pela NBR 6118 [2] para este tipo de viga que é de 1 estribo para cada 125 mm.

Mesmo após a execução dos furos, com a perda de área de aço descrita, não foi constatada nenhum tipo de anomalia sobre a Viga 1. Com isso, a carga aplicada foi sendo aumentada gradativamente até que com uma carga de 6.000 kgf a Viga 1 passou a apresentar fissuras na região dos furos. A falha deste elemento ocorreu a 8.000 kgf, ou seja, o dobro do carregamento no qual a viga foi dimensionada e se deu por cisalhamento tipo feixe (vide Fig. 5.a), conforme apresentado pela foto da Figura 12.a. Este tipo de falha ocorre, pois, os membros acima e abaixo da abertura não estão com nenhum tipo de reforço para suportar as tensões de cisalhamento no qual estão sendo aplicadas sobre a Viga 1.



**Figura 12.** Fissuras geradas a um nível de carregamento de 8.000 kgf na: (a) Viga 1 e (b) Viga 2.

Observando pelo ponto de vista mais crítico, a Viga 1 apresentou uma falha por cisalhamento somente com o dobro da carga na qual a estrutura foi projetada para suportar. Portanto fica claro que os furos executados seguindo os padrões da NBR 6118 [2] por mais que tenham cortados os estribos no momento da realização do furo e com isso diminuindo a área de aço, não comprometeram a resistência da estrutura para a qual a viga foi projetada.

Para a viga 2, a distância do furo ao apoio foi de 500 mm também dentro do padrão determinado pela NBR 6118 [2], porém nessa viga não houve perda de área de aço, pois o furo foi moldado por um tubo de PVC com diâmetro de 50 mm. Ao ser carregada a 4.000kgf não foi percebido o surgimento de fissuras, no nível de tensão previamente dimensionada. Com uma carga de 8.000 kgf a Viga 2 começou a apresentar fissuras muito finas em sua lateral, ilustradas pela foto da Figura 12.b.

Tais trincas são mais finas que as fissuras ocorridas na Viga 1, com o mesmo nível de carregamento, conforme pode ser observado pela comparação das fotos na Figura 12.

O furo executado na Viga 3, apesar de apresentar o mesmo diâmetro das demais vigas, foi realizado no centro da estrutura, na região de momento fletor máximo (vide Fig. 3). A posição do furo foi propositalmente colocada fora dos padrões permitidos pela NBR 6118 [2], a fim de se avaliar se a estrutura teria a sua resistência comprometida. Ao finalizar o furo foi verificado que ocorreu uma perda da área de aço dos estribos, assemelhando-se ao mesmo problema do espaçamento entre os estribos comentado para a Viga 1, porém no caso da Viga 3, na região de maior momento fletor.

Constatado que a Viga 3 não apresentava nenhuma fissura em sua estrutura, após carregada até 4.000 kgf, o carregamento foi aumentado gradativamente, da mesma forma como foi realizado na Vigas 1 e na Viga 2. Com um carregamento de 6.000kgf foi verificado a presença de algumas fissuras na Viga 3. Uma falha por flexão, através da presença de trincas, uma delas perpendicular ao comprimento da viga partindo do furo e ilustradas na Figura 13 (vertical), ocorreu a um nível de carregamento de 8.000 kgf.



**Figura 13.** Fissuras geradas a um nível de carregamento de 8.000 kgf na Viga 3 (ao lado direito está a indicação das trincas).

O tipo de falha observada para a Viga 3 (trinca perpendicular ao comprimento da viga), mostrada na Fig. 13, pois, o concreto não suporta a força de tração na qual a viga está sendo submetida no trecho de momento máximo. Desta forma surgem fissuras perpendiculares à direção de tração (vertical) na região onde o furo foi realizado (Fig. 13).

### 3 CONCLUSÃO

Embasado nos resultados obtidos conclui-se que, os furos realizados nas três vigas não apresentaram influência muito relevante em relação à diminuição de resistência das vigas. Notou-se também que as duas das vigas analisadas neste estudo, com perfurações feitas através de furadeira (Viga 1 e Viga 3), iniciaram fissuras a um nível de carregamento de 6.000 kgf. Todas as vigas atingiram o máximo em sua resistência a uma carga de 8.000 kgf, ou seja, o dobro da força no qual a viga foi dimensionada para suportar.

Os furos executados na Viga 1 e Viga 2 estavam dentro dos padrões exigidos pela NBR 6118 [2], e a diferença dos resultados analisados entre as duas vigas foram na espessura das patologias geradas entre elas na sua carga de resistência final de 8.000 kgf (Fig. 12). A grande diferença entre estas vigas foi a existência de uma perda de área de aço sobre a estrutura e, devido a isso, o espaçamento máximo entre os estribos ficando maior do que o espaçamento permitido.

Para a Viga 3, além da perda de aço e redução do espaçamento máximo entre os estribos, as fissuras geradas ocorreram por flexão, ou seja, houve um escoamento da armadura longitudinal sobre a estrutura gerando fissuras na região do furo em uma posição perpendicular ao comprimento da viga (vertical), característica típica de ruptura por momento fletor.

Porém vale ressaltar que para se realizar furos em estrutura de concreto armado, medidas de segurança devem ser adotadas para que não ocorra uma interferência em relação a resistência da estrutura. Portanto a consulta em normas regulamentadoras e o dimensionamento de armaduras para reforços da estrutura, são itens que devem ser tomados como prioridades ao se planejar executar furos ou aberturas em estruturas.

## REFERÊNCIAS

- 1 BOTELHO, Manoel Henrique Campos. Concreto Armado Eu Te Amo. São Paulo: Blucher, 2011.
- 2 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, Confirmada em 30.11.2018.
- 3 MANSUR, M. A.; TAN, K-H. Concrete beams with openings: Analysis and design. Nova York (USA): CRC Press, 1999.
- 4 LEONHARDT, F.; MONNING, E. Construções de Concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.