

A AVALIAÇÃO DE FUROS HORIZONTAIS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO EM RELAÇÃO AOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS E À ELEVAÇÃO DA QUANTIDADE DE ARMADURA

Roberto Vicente Silva de Abreu¹, Alessandra Ambrósio Horsth², Hellen Cristine Prata de Oliveira³, José Francisco Anunciação Pinto⁴

¹ Graduando em Engenharia Civil, Faculdade de Ciências Gerenciais de Manhuaçu-MG, robertomutum2011@gmail.com

² Especialista em Docência do Ensino Superior, Univertix – Matipo- MG, alehorsth@hotmail.com

³ Doutora em Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal de Ouro Preto, hcprata@yahoo.com.br

⁴ Mestre em Estruturas Metálicas, Universidade Federal de Viçosa – Viçosa - MG, jose.anunciacao@hotmail.com

Resumo- O conceito BIM (Building Information Modeling) tem sido difundido mundialmente no mercado da Construção Civil uma vez que ele visa a integração dos projetos de uma construção para que o planejamento e a compatibilização dos diferentes sistemas fiquem integrados. De tal modo, pode-se economizar em materiais e tempo já que o BIM traz uma ideia de que todos os projetos devem ser feitos de maneira conjunta e sem individualização ou desmembramento de etapas que constituem uma obra. No Brasil o modelo ainda é incipiente e não é usado pela maioria dos profissionais da área quando os projetos são concebidos. Um dos exemplos com elevada incidência é a falta de compatibilidade dos projetos estruturais e dos projetos hidrossanitários. Assim, em muitos casos, a estrutura é construída e posteriormente os tubos e conexões são locados, porém vigas e pilares podem não permitir que os tubos prossigam para o ponto de descida da prumada ou escoamento. De maneira errônea, as vigas e pilares são furados sem as observações contidas na norma de concreto, NBR 6118 (2014) e a capacidade resistente dos elementos estruturais pode ficar comprometida. A presente pesquisa visou avaliar os efeitos da adição de furos horizontais de 5 cm em vigas de concreto armado em relação às flechas.

Palavras-chave: Concreto armado; Furos; Armadura de aço; Vigas.

Área do Conhecimento: Engenharias.

1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material com tecnologia mundialmente difundida uma vez que apresenta elevada facilidade quanto a confecção e execução. Um dos problemas relacionados com as propriedades mecânicas do concreto é a baixa resistência à compressão, a qual é cerca de 10 da resistência à tração. De tal modo, usa-se barras de aço nas regiões tracionadas do elemento de concreto uma vez que aquele material possui elevada resistência tanto à compressão quanto à tração.

A falta de planejamento das obras no Brasil é uma situação que ocorre de maneira acentuada e isso pode comprometer a qualidade dos projetos e da execução das obras. De tal maneira, a durabilidade dos elementos de concreto pode apresentar parâmetros que não se enquadram nas normas referentes às construções de concreto. Além disso, a falta de compatibilização de projetos de engenharia causa diversos problemas relacionados com improvisações e em muitos casos os projetos originais são alterados e isso pode comprometer a resistência da estrutura (AUGUSTINHO, 2009).

A NBR 6118 (2014) assim como mostrado por Carvalho e Filho (2005), especifica que pode-se realizar furos em vigas desde que algumas especificações sejam obedecidas. Assim, para que se dispense o reforço para viga com furos, a norma estabelece que os furos devem ser posicionados nas regiões de tração da viga, ter distância entre o furo e a face mais próxima da viga de 5 cm mais o recobrimento, os furos devem ter diâmetro igual ou menos a 1/3 da largura da viga, deve obedecer a distância entre furos de duas vezes a altura da viga e ter uma distância máxima do furo ao apoio próximo de duas vezes a altura.

2 METODOLOGIA

Para a realização da pesquisa, utilizou-se o software Eberick V8 Gold, da empresa AltoQi, para as análises de quatro tipos de vigas. A primeira viga (Viga 1) possui seção contínua e sem abertura de furos na seção transversal. A segunda viga (Viga 2) apresenta um furo horizontal a 50 cm do apoio lateral. A terceira viga (Viga 3) possui dois furos, um a 50 cm do apoio lateral e o outro espaçado 1 m do furo anterior. Por último, tem-se a quarta viga (Viga 4) a qual possui um furo na região central.

Nas Figura 1 e 2 pode-se ver os dados inseridos no *software* para a análise do projeto em questão. Na Figura 1 são mostrados os dados de redução de momento e de torção dependendo da vinculação dos elementos estruturais. Além disso, é possível ver que o processo de avaliação da não linearidade geométrica utilizado pelo Eberick é o processo P-Delta. Já na Figura 2 o tipo de concreto a ser utilizado é mostrado. No caso, utilizou-se um concreto com f_{ck} de 25 Mpa. A classe de agressividade para áreas residenciais urbanas deve ser categorizada na classe II, segundo a NBR 6118. Com isso, o recobrimento determinado através da classe citada, foi de 3 cm para as vigas.

Figura 1 – Dados da análise do projeto

A captura de tela mostra a janela 'Análise' do software Eberick V8 Gold. A interface é dividida em seções para configuração de parâmetros de análise.

Seção Geral:

- Redução no engaste para nós semi rígidos: 15 %
- Redução na torção para os pilares: 0 %
- Redução na torção para as vigas: 85 %
- Aumento na rigidez axial dos pilares: 1
- ☐ Salvar automaticamente o projeto após o processamento

Seção Não linearidade física:

- Rigidez das vigas: 0.4 Eci.Ic
- Rigidez dos pilares: 0.8 Eci.Ic
- Rigidez das lajes: 0.5 Eci.Ic

Seção Não linearidade geométrica:

- ☒ Utilizar o processo P-Delta
- Número máximo de iterações: 10
- Precisão mínima: 1 %
- Combinação vertical de cálculo: 1.4G1+1.4G2+1.1A+1.4Q

Seção Precisão numérica:

- Erro estimado máximo: 1 %
- Valor absoluto mínimo: 100

Seção Imperfeições globais:

- Tipo de estrutura: Estruturas Usuais
- Considerar para: ☒ Direção X, ☒ Direção Y
- Combinação vertical característica: G1+G2+A+Q

Botões de ação: Painéis de lajes..., Apoio elástico padrão..., OK, Cancelar, Ajuda.

Figura 2 – Dados dos materiais e da classificação quanto a classe de agressividade do projeto

Materiais e durabilidade

Aplicação
☒ Projeto inteiro
☐ Por pavimento

Pavimento
 pav

Geral
 Classe de agressividade: II (moderada)
 Dimensão do agregado: 19 mm
☐ Controle rigoroso nas dimensões dos elementos
☐ Considerar redução no cobrimento para peças com fck acima do requerido para a classe de agressividade

Abertura máxima das fissuras
 Contato com o solo: 0.2 mm
 Contato com a água: 0.1 mm
 Demais peças: 0.3 mm
 Combinações: Frequentes

Elementos

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	Cobrimento (peças internas)	Cobrimento (contato com o solo)	
Vigas	C-25	3 cm	3 cm	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	3 cm	4.5 cm	Bitolas...
Lajes	C-25	2.5 cm		3 cm	Bitolas...
Reservatórios	C-25	3 cm			Bitolas...
Blocos	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Sapatas	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Tubulões	C-20			4.5 cm	Bitolas...
Muros	C-25			4.5 cm	Bitolas...
Radier	C-25			4.5 cm	Bitolas...

Elementos pré-moldados

	Concreto	Cobrimento (peças externas)	
Vigas	C-25	3 cm	Bitolas...
Pilares	C-25	3 cm	Bitolas...

Avisos
 Todas as informações estão definidas corretamente
 Detalhes...

Tipo
 Pré-moldado

Fluência... Barras... Classes... OK Cancelar Ajuda

Em relação às características do pavimento estudado, têm-se que a área dele é de 68 m², o pé direito usado foi de 300cm, o vão total da viga estudada no trabalho em questão é de 11,50m e as dimensões da viga foi estabelecida com base de 15cm e altura de 40cm.

Os resultados obtidos após a análise estática linear realizada pelo software sobre as flechas verticais e da quantidade de armadura necessária estão apresentados na seção de resultados e discussão do presente artigo.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Tabela 1 – Resultados das flechas totais em cm obtidas na análise

Viga	Vão	Deslocamentos (Envoltória)					Variação em relação a viga padrão (%)
		Elásticos	Imediatos	Imediatos recalculados	Diferidos	Total	
V1	1	-0.95	-0.74	-0.15	-0.11	-0.26	0
	2	-0.95	-0.74	-0.15	-0.11	-0.26	0
V2	1	-0.27	-0.24	-0.19	-0.16	-0.35	34.6
	2	-0.83	-0.74	-0.63	-0.49	-1.12	330.1
	3	-0.83	-0.72	-0.63	-0.48	-1.11	326.9
V3	1	-0.27	-0.23	-0.18	-0.15	-0.33	26.9
	2	-0.68	-0.57	-0.53	-0.35	-0.87	234.6
	3	-0.83	-0.71	-0.65	-0.49	-1.14	338.5
	4	-0.83	-0.71	-0.63	-0.48	-1.11	326.9
V4	1	-0.83	-0.71	-0.59	-0.47	-1.06	307.7
	2	-0.82	-0.70	-0.65	-0.48	-1.13	334.6
	3	-0.83	-0.71	-0.62	-0.48	-1.10	323.1

Pela análise da tabela 1, é possível notar que as variações das flechas das vigas com furos foram elevadas em relação à viga sem furo. Ainda que todas as vigas apresentaram flechas aceitáveis perante o limite de $L/300$ estabelecido pela NBR 6118, é válido analisar o local que causa maior valor de flechas. O valor da flecha admissível segundo o limite citado é de 3,83 cm aproximadamente, uma vez que o comprimento da viga é de 1150 cm. Analisando os deslocamentos verticais totais, pode-se notar que dentre as vigas testadas, a viga V3, que possui dois furos próximos do apoio, apresentou o maior valor de flecha, seguida da viga V4, V2 e V1, respectivamente.

Na Tabela 2 são apresentados dados referentes aos esforços solicitantes das vigas que foram objeto de estudo da presente pesquisa. Pode-se notar que os esforços cortantes das vigas com furos transversais foram cerca de 30% maiores que os esforços cortantes da viga sem furos. De maneira similar, os momentos foram elevados de forma considerável quando os furos foram introduzidos. Em relação à viga padrão, os momentos negativos se elevaram em cerca de 60% enquanto os positivos foram elevados em cerca de 91%.

Tabela 2 – Comparativo entre os esforços internos das vigas e o respectivo consumo de aço

Tipo de viga	Cortante mínimo (tf)	Cortante máximo (tf)	Momento mínimo (tf.cm)	Momento máximo (tf.cm)	Consumo de aço (Kg)
Viga 1	-7,95	7,95	- 6144	2439	59,5
Viga 2	-10,39	10,39	-9938	4663	90,1
Viga 3	-10,39	10,39	-9938	4661	103,4
Viga 4	-10,39	10,39	-9938	4666	101,1

Nas Figuras 3, 4, 5 e 6, pode-se notar a disposição das armaduras na seção transversal. É possível ver que na viga padrão, mostrada na Figura 3, a quantidade de barras foi menor que a das outras vigas pelo fato de que a seção de concreto ficou inalterada e assim o aço está atuando apenas para resistir os esforços de tração e as armaduras da parte superior são apenas construtivas. Entretanto, nas vigas com furos, a seção de concreto foi diminuída e assim, o uso de armadura dupla foi necessário para que as barras de aço auxiliassem o concreto na resistência dos esforços de compressão.

Comparado a disposição das armaduras das Figuras 3, 4, 5 e 6 com os dados da última coluna da Tabela 2, fica evidente que quanto mais furos são feitos nas vigas, menor a resistência da peça de concreto, maiores serão os esforços e conseqüentemente, maior será o consumo de aço. As vigas que apresentaram maiores valores de área de aço foi a com dois furos próximos do apoio lateral e a com um furo no centro do vão. Sabe-se que os momentos no centro do vão de vigas biapoiadas são os valores preponderantes e sempre os momentos máximos e mínimos serão obtidos nessa localização. De tal modo, a viga 4 apresentou um consumo de aço elevado pelo fato de o furo ter sido locado no trecho de maior momento, assim, a resistência da viga ficou comprometida, e o uso da armadura dupla foi necessário.

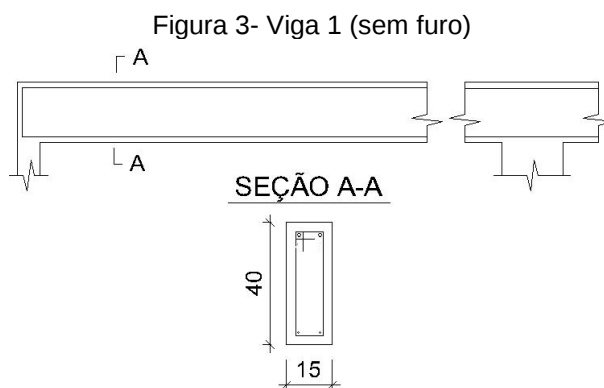


Figura 4- Viga 2 (furo próximo ao apoio)

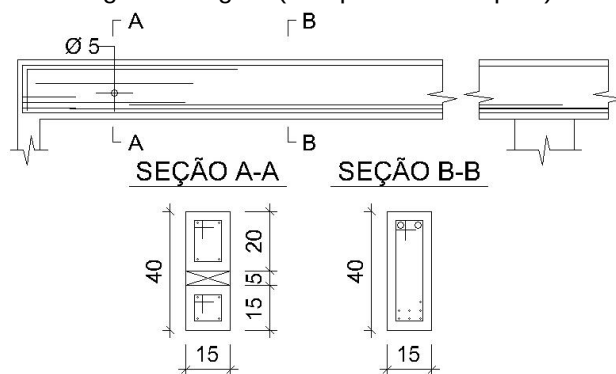


Figura 5- Viga 3 (dois furos)

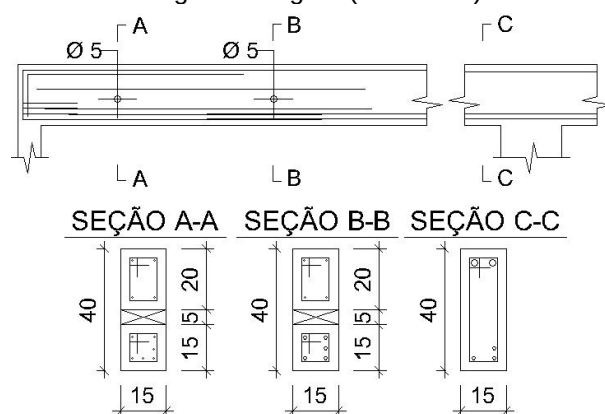
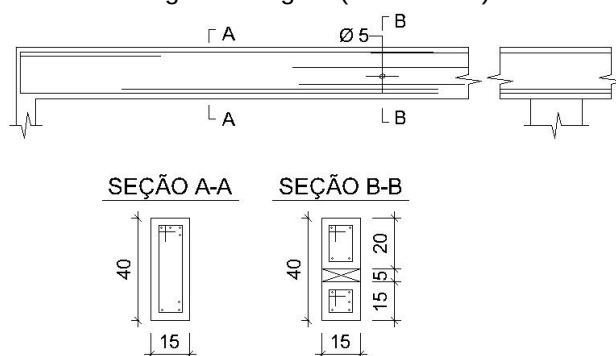


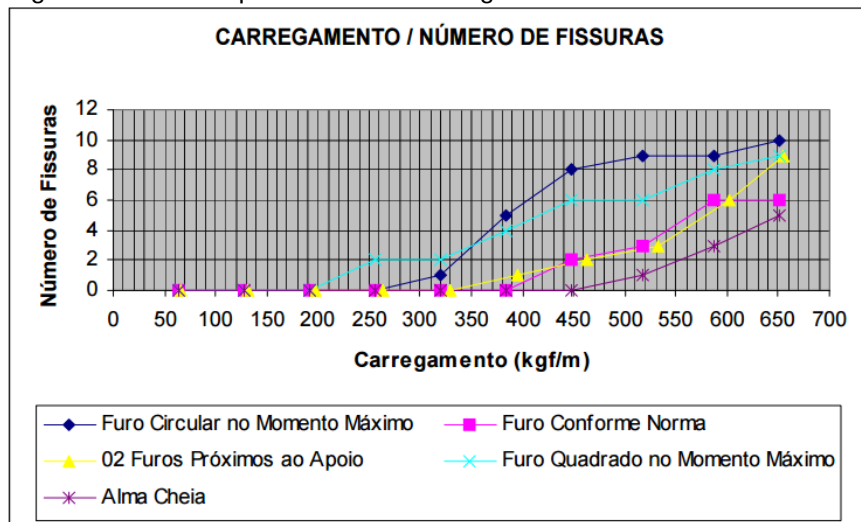
Figura 6- Viga 2 (furo central)



Na Tabela 2 são apresentados os dados dos esforços solicitantes de cada viga perante os furos executados no programa. Pode-se ver que a viga com dois furos próximos do apoio teve uma elevação da quantidade de consumo de aço em cerca de 74%, seguido da viga com furo central em que a elevação foi de 70% e por último a viga com um furo próximo do apoio com a respectiva elevação de armadura de 51%.

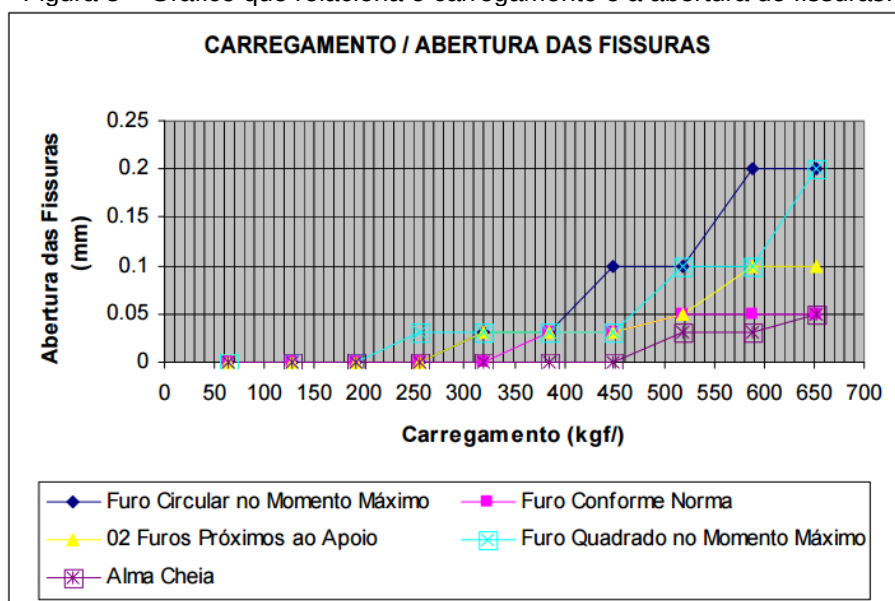
As Figuras 7 e 8 foram extraídas da pesquisa de Agostinho (2009) em que foram testadas vigas com furos diversos em relação à abertura de fissuras e ao número de fissuras. As vigas tinham seção em centímetros de 12x30, feitas com concreto com f_{ck} de 25 MPa e comprimento de 330 cm. É possível notar que as vigas com um furo no centro e dois furos próximos ao apoio, assim como na presente pesquisa, causaram um maior número de fissuras, como mostrado na Figura 7. Na figura 8, é notório que o furo e a abertura quadrada no centro foram os tipos situações que causaram maiores aberturas de fissuras, seguidas pela viga com dois furos perto do apoio.

Figura 7 – Gráfico que relaciona o carregamento e o número de fissuras.



Fonte: (AGUSTINHO, 2009).

Figura 8 – Gráfico que relaciona o carregamento e a abertura de fissuras.



Fonte: (AGUSTINHO, 2009).

4 CONCLUSÃO

Destarte, foi possível ver que os furos em vigas são comuns em obras da Construção Civil e que a NBR 6118 (2014) estabelece alguns parâmetros para que eles sejam executados de forma segura e adequada. A presente pesquisa mostrou através da análise das vigas que qualquer furo realizado em vigas eleva os deslocamentos verticais e a quantidade de armadura necessária para a construção da viga, porém, os casos mais críticos se relacionam com furos na região central e com dois furos próximos dos apoios.

Os furos realizados nas vigas testadas tinham diâmetro de 5 cm, o que corresponde a um tubo de 50 mm de diâmetro, porém em muitos casos para a execução da parte sanitária de uma edificação, é necessário fazer furos de 100 mm nas vigas. Entretanto, para a realização de furos com essa dimensão, seria necessário usar uma viga com dimensões maiores e que satisfaçam os parâmetros determinados pela NBR 6118 (2014).

A pesquisa ajudou a mostrar que para se fazer furos em vigas de maneira segura, deve-se estudar as dimensões das vigas e planejar para que as armaduras de reforço sejam posicionadas na seção. Na maioria das obras o planejamento necessário não acontece e os furos fora das dimensões da norma podem comprometer a capacidade resistente das vigas furadas, colocando em risco a estabilidade e durabilidade da construção.

5 REFERÊNCIAS

AGUSTINHO, S. R. **Análise da Influência de Furos Horizontais em Vigas de Concreto Armado.** Universidade Do Extremo Sul Catarinense – Unesc - Curso De Engenharia Civil. Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para obtenção do grau de Engenheiro Civil, no curso de Engenharia Civil, da Universidade do Extremo Sul Catarinense, UNESC.Criciúma, SC, Novembro de 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:2014 – Projeto de Estruturas de Concreto: Procedimento.** Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, R. C.; FILHO, J. R. F. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado : segundo a NBR 6118:2003.** 2ed. São Carlo, SP: EDUFSCAR, 2005.