

ANÁLISE DO MODELO DE BIELAS E TIRANTES PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM FUROS

**EMANOEL CUNHA ARAUJO^{1*}; RENNAN LIBERATO RODRIGUES²; NAGILA VEIGA ADRIÃO MONTEIRO³;
RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA⁴**

¹Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, emanoel.cunha@hotmail.com

²Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, rennanliberato@outlook.com

³Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, monteironag@gmail.com

⁴Professor Doutor, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral –CE, ricardo.carvalho222@gmail.com

Apresentado no

Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 1 de setembro de 2016 – Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: A presença de furos em vigas de concreto armado, devido a compatibilização de projetos nas obras de engenharia, necessita de um melhor estudo afim de não prejudicar o comportamento da peça estrutural. O modelo de bielas e tirantes é uma boa alternativa para essa análise. Esse modelo apresenta como propriedade a generalidade, visto que exemplifica o comportamento das estruturas de concreto armado de forma efetiva. Este trabalho consiste na análise de vigas de concreto armado com furos através do modelo de bielas e tirantes. Foram analisadas analiticamente e experimentalmente três vigas, sendo uma sem furo e duas com furos em posições variadas. Dos resultados obtidos, através dos ensaios realizados no laboratório de Materiais de Construção do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú, foram calibrados modelos de bielas e tirantes que representassem as vigas experimentalmente.

PALAVRAS-CHAVE: viga com furos, modelo de bielas e tirantes, concreto armado.

ABSTRACT: The presence of holes on reinforced concrete beams, due to the compatibilization of projects in engineering work, needs a better study in order not to damage the behavior of the structural part. The strut and tie model is a good alternative for this analysis. This model presents the generality as a property, since it exemplifies the behavior of the reinforced concrete structures in an effective way. This work aims the analysis of reinforced concrete beams with holes through the strut and tie model. Three beams were analyzed analytically and experimentally, one without holes and two with holes in varied positions. From the results obtained, through the tests performed at the Laboratory of Materials of Construction of the Department of Civil Engineering of Vale do Acaraú State University, a strut and tie model that represented the beam experimentally has been calibrated.

KEYWORDS: Beams with holes, strut and tie model, reinforced concrete.

INTRODUÇÃO

A abertura em elementos de concreto armado é bastante comum na construção civil, seja em obras de pequeno ou grande porte. Tais furos são abertos para possibilitar a passagem de tubulações, caso este com muita ocorrência na cidade de Sobral-CE. Porém, essas aberturas nas peças de concreto armado se mostram prejudiciais para a vida útil da estrutura, ocasionando fissuras e ruptura precoce, pois geralmente os furos não são considerados no dimensionamento da peça. Considerando a necessidade dos furos e a importância da vida útil da peça, faz-se necessário o estudo de reforços que aliviem as zonas de tensão criadas pelo furo.

Para método dimensionamento das peças estruturais estudados por este trabalho foi considerado o modelo de bielas e tirantes, já que esta se mostra bastante eficiente em áreas com e sem descontinuidades. Segundo a NBR 6118 (2014), são chamadas de região B de um elemento estrutural aquelas em que as hipóteses da seção plana (Hipótese de Bernoulli) são aplicadas, ou seja, regiões em que seções planas permanecem planas após a deformação. São chamadas de regiões D aquelas em que

a hipótese da seção plana não é válida (onde o princípio de Saint Venant é válido). Desta maneira é obtida uma representação das zonas mais solicitadas da peça estrutural.

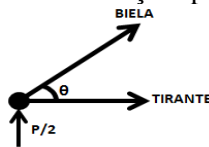
Este trabalho tem como objetivo analisar, através do modelo de bielas e tirantes, vigas com furos. Foram confeccionadas 3 vigas: a primeira sem furos, chamada de viga referência (F1); a segunda com dois furos (F2); e a terceira com três furos (F3). As vigas foram submetidas ao ensaio de Stuttgart até sua ruptura para observar os caminhos de tensão a fim de propor a melhor topologia de aplicação do modelo de bielas e tirantes. O ensaio foi realizado na prensa manual do Laboratório de Materiais de Construção da Universidade Estadual Vale do Acaraú.

PRINCIPIOS NORMATIVOS

De acordo com a NBR 6118 (2014), estruturas cujo projeto exige a presença de aberturas devem ser calculadas e detalhadas considerando as perturbações das tensões que se concentram em torno dessas aberturas, prevendo, além das armaduras para resistir às forças de tração, armaduras complementares dispostas no contorno e nos cantos das aberturas, podendo ser feita a verificação através do modelo de bielas e tirantes.

As orientações previstas na NBR 6118 (2014) acerca da aplicação do modelo de bielas e tirantes são realizadas através de uma treliça idealizada, constituída por bielas, tirantes e nós. As bielas representam a resultante das tensões de compressão, os tirantes representam as armaduras de tração em um único eixo e os nós são regiões de encontro entre as bielas e tirantes e zonas em que são aplicadas cargas externas a peça estrutural. A treliça idealizada é isostática, formando um sistema autoequilibrado. O primeiro passo da rotina de cálculo é feita através da estimativa das tensões atuantes nas bielas e nos tirantes, feita por intermédio do equilíbrio de forças na treliça (figura 1), originando as equações 1 e 2.

Figura 1. Equilíbrio de forças aplicadas nos nós.



$$-P/2 * \sin\theta. \text{ (Equação 1);}$$

$$P/2 * \cos\theta * \sin\theta. \text{ (Equação 2).}$$

Já para as verificações das tensões máximas nas bielas, a NBR 6118 (2014) indica três equações distintas, são elas:

$$f_{cd1} = 0,85 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (bielas prismáticas ou nós CCC) (Equação 3);}$$

$$f_{cd2} = 0,60 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (bielas atravessadas por mais de um tirante, ou nós CTT ou TTT) (Equação 4);}$$

$$f_{cd3} = 0,72 \cdot \alpha_{v2} \cdot f_{cd} \text{ (bielas atravessadas por tirante único, ou nós CCT) (Equação 5);}$$

$$\alpha_{v2} = 1 - f_{ck}/250 \text{ (} f_{ck} \text{ em mega pascal) (Equação 6);}$$

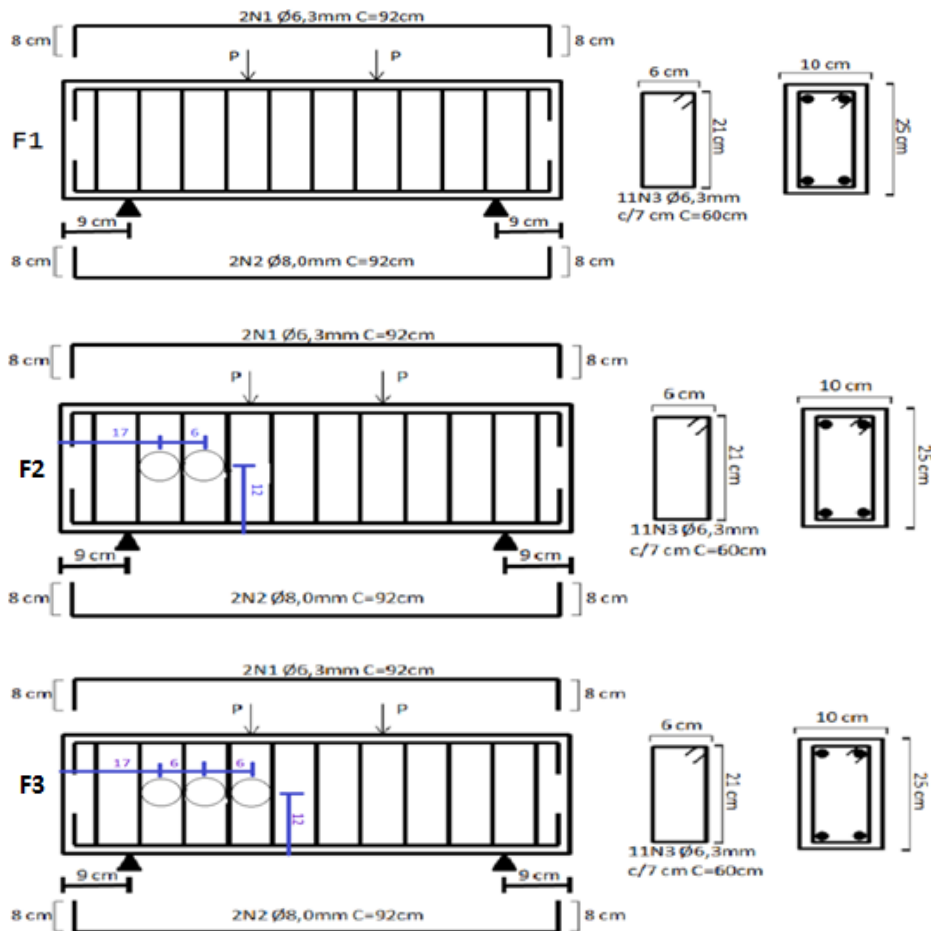
DETALHAMENTO DAS VIGAS

Para o estudo, a confecção das vigas foi realizada em uma obra da cidade de Sobral-CE a partir de concreto usinado com uma resistência característica de 30 MPa. Já nas armaduras foram utilizadas duas bitolas diferentes do aço CA-50, sendo 6,3 mm de bitola para os estribos e porta estribos e de 8,0 mm para a armadura longitudinal.

Tabela 1. Características do aço utilizado na confecção das vigas.

Díâmetro Nominal (DN) (mm)	Massa Nominal (kg/m)	Tolerância Massa Linear (%)	Resistência Característica de Escoamento (fy) (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento em 10Ø
6,3	0,245	± 7	500	540	8%
8	0,395	± 7	500	540	8%

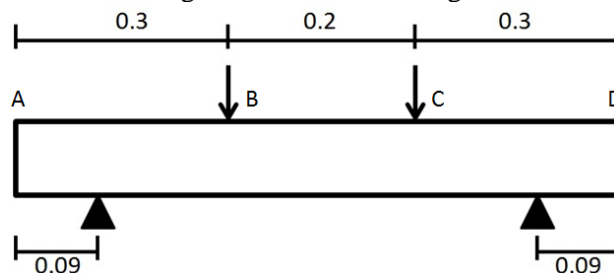
Figura 2. Detalhamento da armadura das vigas.



PROGRAMA EXPERIMENTAL

O programa experimental consistiu no ensaio de três vigas de concreto armado de seção retangular, sendo uma viga sem furos denominada de F1 (viga de referência), e outras duas com furos e sem reforço, variando apenas na localização dos furos (F2 e F3). Os ensaios foram realizados através do ensaio de Stuttgart que basicamente consiste em um carregamento gradativo da peça estrutural nos pontos B e C (figura 03), as cargas concentradas são aumentadas progressivamente até que as vigas venham a atingir o valor de colapso, tendo ainda a vantagem de permitir, numa mesma peça, a observação da flexão pura no trecho BC e da flexão simples nos trechos AB e CD (Chaer, 2013). A partir dos ensaios experimentais realizados no Laboratório de Materiais de Construção e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú, foram extraídas as cargas de ruptura das vigas e conjuntamente realizadas demarcações dos caminhos de fissura. Posteriormente os dados obtidos foram aplicados manualmente nas equações 1 e 2, obtendo-se assim as forças atuantes nos elementos da treliça.

Figura 3. Ensaio de Stuttgart.



RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados calculados manualmente através das equações do equilíbrio de forças na treliça idealizada e das equações propostas pela NBR 6118 (2014) serão apresentados por meio de tabelas com as tensões atuantes nas bielas e nos tirantes e seus respectivos modos de ruptura, acompanhadas das imagens das fissuras que a peça estrutural apresentou juntamente com o modelo proposto.

VIGA F1

A viga F1 nomeada de referência atingiu sua ruptura com uma carga de 168 kN, o mecanismo de ruptura se deu por tração diagonal observado na figura 4B.

Figura 4. Modelo de bielas e tirantes proposto (A) e a viga F1 com as fissuras marcadas depois de submetida ao ensaio stuttgart (B).

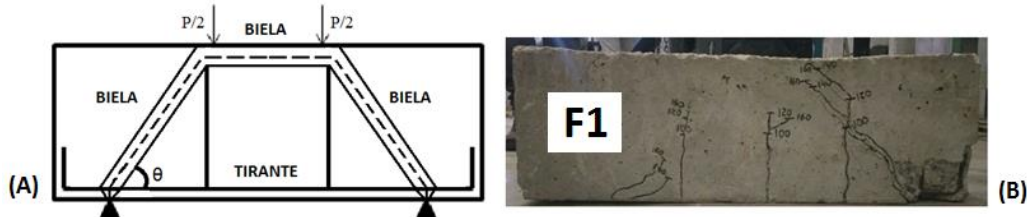


Tabela 2. Forças atuantes nos elementos da viga F1.

ELEMENTO DA VIGA F1	FORÇA ATUANTE (kN)
BIELA COMPRIMIDA	109,7
BANZO SUPERIOR DE COMPRESSÃO	70,6
BANZO INFERIOR DE TRAÇÃO	70,6

VIGA F2

A viga F2 apresentava dois furos entre a região de aplicação da carga e o apoio. Por falhas no momento da concretagem os tubos se deslocaram em relação a sua posição original, observado na figura 5B. A viga rompeu com uma carga de 139 kN, com modo de ruptura se deu por compressão diagonal, influenciada pela presença dos furos.

Figura 5. Modelo de bielas e tirantes proposto (A) e a viga F2 com as fissuras marcadas depois de submetida ao ensaio stuttgart (B).

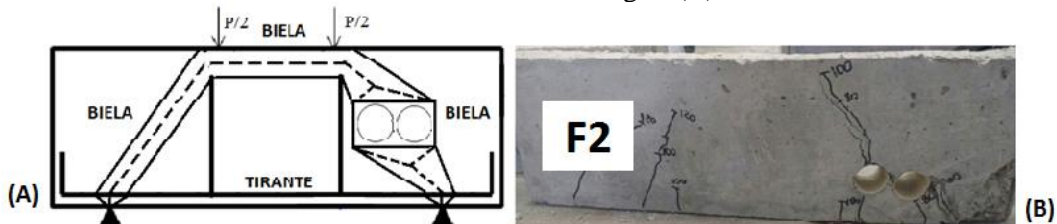


Tabela 3. Forças atuantes nos elementos da viga F2.

ELEMENTO DA VIGA F2	FORÇA ATUANTE (kN)
BIELA COMPRIMIDA	90,76
BANZO SUPERIOR DE COMPRESSÃO	58,37
BANZO INFERIOR DE TRAÇÃO	58,37

VIGA F3

A viga F3 apresentava três furos entre a região de aplicação da carga e o apoio. A viga rompeu com uma carga de 115 kN, com modo de ruptura se deu por compressão diagonal, influenciada pela presença dos furos. Vale ressaltar que entre as três vigas analisadas a F3 rompeu com a menor carga.

Figura 6. Modelo de bielas e tirantes proposto (A) e a viga F3 com as fissuras marcadas depois de submetida ao ensaio stuttgart (B).

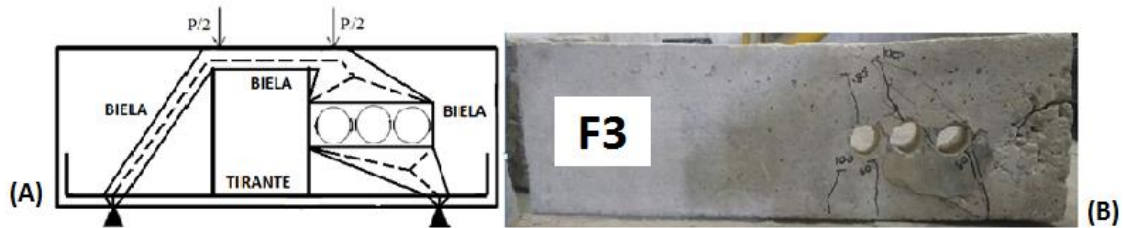


Tabela 4. Forças atuantes nos elementos da viga F3.

ELEMENTO DA VIGA F3	FORÇA ATUANTE (kN)
BIELA COMPRIMIDA	75,1
BANZO SUPERIOR DE COMPRESSÃO	48,3
BANZO INFERIOR DE TRAÇÃO	48,3

CONCLUSÃO

O modelo de bielas e tirantes se faz bastante eficaz, já que avalia de forma específica cada tipo de descontinuidade, tendo como base os caminhos de força resultantes (campos de tração resistidos pelos tirantes-aço e as zonas de compressão resistida pelas bielas e banzo superior-concreto) e o modo de ruptura da viga, para conseguinte a melhor escolha do modelo que será adotado. Portanto, é observada uma representação efetiva do comportamento estrutural.

Durante os ensaios realizados no laboratório de Materiais de Construção Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú foi observada a presença de várias fissuras nas regiões dos furos, que quando comparada a viga de referência (F1) os caminhos de carga variam, comprovando que essas aberturas se tornam zonas de descontinuidades variando as resistências das vigas, a viga F2 rompeu com uma resistência menor de 17% em relação a viga de referência, enquanto que a F3 rompeu com uma carga menor 32% em relação a viga de referência. Portanto, o modelo de bielas e tirantes aplicado a vigas com furos apesar das variáveis encontradas e pouco acervo bibliográfico, auxiliam aos pesquisadores e aos calculistas das estruturas, um melhor entendimento do comportamento estrutural, obtendo assim, resultados similares da conduta da viga frente aos carregamentos submetidos.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Estadual Vale do Acaraú por todo o apoio durante a realização desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

- CHAER, A. V. Ensaios de Stuttgart. Notas de aula - Estruturas de concreto armado I. Universidade Católica de Góias, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro, 2014.
- SANTOS, D. dos. Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Estruturas, São Carlos, 2006.
- FARRAPO, A. F. F. Análise Teórico – Experimental de Vigas com Furos. Sobral: UVA, 2016. 93 f. Monografia apresentada como requisito para obtenção do título de Engenheiro Civil.