

## Análise e interferência em vigas de concreto armado com abertura e com reforço de manta de fibra de carbono

## Analysis and interferences in reinforced concrete beams with opening and reinforced carbon fiber blanket

### RESUMO

Rafael Criado Ribeiro  
[rafael.2016@alunos.utfpr.edu.br](mailto:rafael.2016@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Federal do Paraná,  
Pato Branco, Paraná, Brasil.

Heloiza Aparecida Benetti  
[hpiassa@utfpr.edu.br](mailto:hpiassa@utfpr.edu.br)  
Universidade Federal do Paraná,  
Pato Branco, Paraná, Brasil.

Percival Pscheidt do Rego  
[percival@alunos.utfpr.edu.br](mailto:percival@alunos.utfpr.edu.br)  
Universidade Federal do Paraná,  
Pato Branco, Paraná, Brasil.

Gustavo Lacerda Dias  
[lacerda@utfpr.edu.br](mailto:lacerda@utfpr.edu.br)  
Universidade Federal do Paraná,  
Pato Branco, Paraná, Brasil.

Ainda é comum que os diversos projetos que englobam a construção civil não sejam compatibilizados. Um ponto importante da compatibilização é prever a passagem de tubulações por vigas e com isso dimensionar o reforço quando necessário e previsto pela NBR 6118:2014. Em muitos casos essa abertura não é prevista na etapa do projeto estrutural, mas é necessária, e executada após o elemento estrutural já concretado e curado, sem a existência do reforço.

A partir desse contexto, a pesquisa visa verificar se a utilização de compósito de fibra de carbono como reforço estrutural apresenta o mesmo desempenho que o reforço proposto pela NBR 6118:2014. Esta verificação se dará nas dependências do Laboratório de Estruturas da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, campus Pato Branco, por meio da aplicação de método de ensaio destrutivo a fim de caracterizar o comportamento físico e mecânico de vigas de concreto armado.

**PALAVRAS-CHAVE:** Reforço Estrutural. Tecido de fibra de carbono. Concreto Armado.

### ABSTRACT

It is still common to have several projects that include a civil construction that is not compatible. An important point of compatibility is to foresee the passage of pipes through beams and thereby dimensioning or reinforcing when necessary and foreseen by NBR 6118:2014. In many cases, this opening is not foreseen in the structural design stage, but it is necessary, and executed after the structural element already concrete and cured, without the presence of reinforcement.

From this context, this research aims to verify the use of carbon fiber composite as structural reinforcement has the same performance that was implemented by NBR 6118:2014. This verification is dependent on the Laboratory of Structures of the Federal Technological University of Paraná, Pato Branco campus, through the application of a destructive test method or to characterize the physical and mechanical behavior of reinforced concrete beams.

**KEYWORDS:** Structural strengthening. Carbon fiber. Reinforced Concrete.

**Recebido:** 19 ago. 2020.

**Aprovado:** 01 out. 2020.

**Direito autoral:** Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



## INTRODUÇÃO

Os materiais cimentícios como material estrutural para a construção civil são utilizados desde muito tempo atrás. Os egípcios usaram o gesso impuro, os romanos usavam o calcário calcinado que posteriormente foi aprimorado com areia e pedra fragmentada ou com pedaços de tijolos e água. E assim surgiu o primeiro concreto da história (NEVILLE, 2015).

As estruturas de concreto armado evoluíram e hoje o concreto é um dos materiais mais consumidos do mundo. Com a evolução e cada vez mais focado na segurança e durabilidade das estruturas, novas técnicas e tecnologias foram desenvolvidas. A abertura na alma das vigas passou a ser uma técnica bastante utilizada para passagem de tubulações de todos os tipos (SIMÃO, 2014).

Segundo Simão (2014), a grande maioria dessas aberturas são feitas sem o planejamento, dessa forma, pode comprometer a resistência da viga, causando uma instabilidade local ou até mesmo global. Deixando claro que as aberturas nas vigas devem ser analisadas e discutidas na fase de projeto.

No Brasil as estruturas de concreto armado são regulamentadas pela ABNT (2014) NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento), nela há todas as condições para que seja projetada e executada uma estrutura durável e segura.

De acordo com Silva (2016), a necessidade de reforço nas estruturas faz cada vez mais que sejam realizados estudos com o objetivo de melhorar as técnicas de reforço por meio do uso de novos materiais. Recentemente o preço desses materiais diminuíram e passaram a ser competitivos em relação ao custo de outros materiais também utilizados como reforço estrutural.

Um tipo de material polimérico é a fibra de carbono, que segundo Souza (2016), é uma tecnologia que se desenvolveu na Suíça em 1980, porém no Brasil seu uso não é significativo.

Este trabalho pretende comparar o desempenho estrutural, de vigas de concreto armado à flexão e ao cisalhamento do reforço convencional com barras de aço e com a manta de fibra de carbono. De forma a validar a utilização desse material polimérico como reforço de aberturas em vigas de concreto armado respeitando os limites impostos na NBR 6118:2014.

De acordo com Carvalho (apud Souza) (2016), a fibra de carbono é a que melhor apresenta características mecânicas para o reforço estrutural, sendo por este motivo, o tipo de fibra mais aconselhável para o reforço estrutural.

Com esse objetivo foram dimensionadas vigas de concreto armado e o reforço em aço. Em adição, outras vigas foram dimensionadas com o reforço com manta de fibra de carbono. Os dois tipos de vigas (com reforço em aço e com manta de fibra de carbono) foram submetidas ao Ensaio de Stuttgart.

Comprovada a eficácia da substituição do reforço em aço pela manta de fibra de carbono, os reforços em aberturas de vigas de concreto armado ganharão mais uma opção prática e respeitando a norma. Além de casos em que a viga já foi concretada sem reforço em aço, devido à falta de compatibilização ou a uma mudança tardia do projeto, e precisará de uma abertura, neste caso o reforço em manta de fibra de carbono poderá ser uma opção.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O cimento utilizado foi o Cimento Portland CP V-ARI, com o intuito de acelerar o andamento da pesquisa.

Para a confecção do concreto foi utilizada areia fina, que foi seca em estufa para que não tivesse influência na relação água cimento do concreto. Foram utilizados dois tipos de brita diferente, a brita 2 e brita 0. Essa escolha foi feita pensando na trabalhabilidade do concreto.

A manta de fibra de carbono utilizada para o reforço foi adquirida da Texiglass, com propriedades citadas durante o decorrer do trabalho. E para a colagem da manta das vigas, foi utilizada uma resina epóxi.

Para a realização desta pesquisa, foi determinada a seção da viga de 12 cm x 24 cm e um comprimento de 120 cm. Dimensões essas escolhidas de forma a facilitar no manuseio e transporte das mesmas.

O cobrimento de armadura foi de 1,5 cm, indo contra as recomendações da NBR 6118 (2014), essa decisão foi tomada de forma a diminuir o peso das vigas, de foram a facilitar o transporte das mesmas. Como o trabalho não tem objetivo de estudar a durabilidade, o cobrimento não influenciará nos resultados.

De acordo com a NBR 6118 (2014), uma das condições para que sejam dispensadas as verificações de resistência e deformação é que a abertura seja no máximo 12cm e  $h/3$  (h sendo a altura da viga). Na viga escolhida, o máximo de abertura permitida seria 8 cm. Portanto, para efeito do estudo que o furo causa na viga, adotamos um furo circular de 10 cm de diâmetro.

Em relação ao posicionamento no comprimento, quanto mais perto do apoio mais a região do furo passar a ser uma região de acúmulo de tensões, devido ao valor cortante máxima estar justamente no apoio. Assim, o furo foi colocado com o eixo à 15 cm do apoio com o objetivo de selecionar o local que mais interfere na resistência da viga (FARIAS, 2019).

Será realizado o Ensaio de Stuttgart, que consiste em um ensaio de flexão, onde há uma aplicação gradativa de carga dividida em dois pontos equidistantes (SILVA, PONTES E SILVA, 2016). De forma arbitrária, as vigas foram dimensionadas para uma carga total de 10 toneladas.

O dimensionamento das armaduras longitudinais foi feito baseado no método de equações adimensionais de Carvalho e Figueiredo Filho (2019), respeitando as condições da norma quanto aos domínios de deformação da seção. Para esta pesquisa todos os coeficientes de minoração e majoração foram desconsiderados. A seguir serão citadas as etapas de cálculo até chegar na área de aço necessária, utilizando um concreto com  $f_{ck}$  de 20 Mpa.

Calculada a área de aço foi possível definir que seriam necessárias 2 barras de 12,5 mm, na parte inferior da viga, para combater o momento máximo existente. Foram definidas também, 2 barras de 6,3 mm, parte superior da viga, para servir de porta estribo.

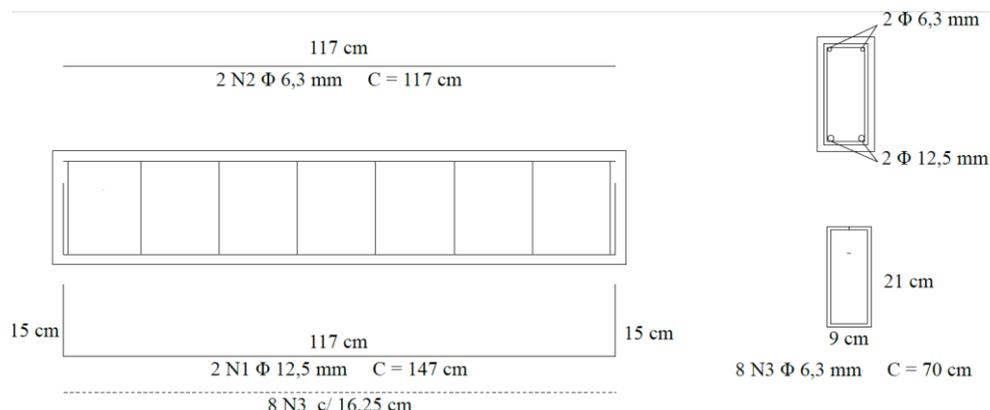
O cálculo das armaduras transversais é baseado nas equações de Carvalho e Figueiredo Filho (2019), que seguem todas as recomendações das NBR 6118:2014. As equações surgiram a partir de uma analogia da treliça de Morsch, de modo que o concreto e a armadura resistam juntos ao esforço cortante. Para o

dimensionamento será utilizado o modelo I, que considera a inclinação das bielas da treliça igual a 45° e que a força resistida pelo concreto é constante.

Para facilitar na execução da viga foram considerados então 8 estribos de 6,3 mm com espaçamento de 16,25 cm.

O detalhamento de toda a armadura da viga está representado na figura 1.

Figura 1 – Detalhamento das armaduras da viga



Fonte: Autoria própria (2020).

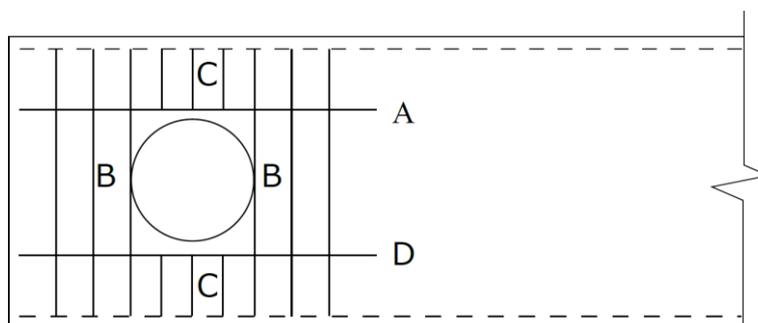
O dimensionamento das armaduras de reforço foi feito de acordo com Leonhardt e Monnig (1978). São consideradas forças normais ( $N_c$  e  $N_T$ ), cortantes ( $V_c$  e  $V_T$ ) e momentos ( $M_c$  e  $M_T$ ) nos banzos inferior e superior. Os banzos foram dimensionados à flexão composta, prevendo uma armadura longitudinal e uma armadura transversal.

Os estribos foram calculados seguindo todas as condições já citadas.

Além disso, foi dimensionado armaduras de suspensão ao redor da abertura, também considerando todas as condições já citadas na seção de dimensionamento de armaduras transversais.

O detalhamento do reforço está presente na figura 2 e na tabela 1.

Figura 2 – Detalhamento dos reforços de aço da viga



Fonte: Autoria própria (2020).

Tabela 1 – Quantidade de aço

Região	Barras adotadas
A	2 $\phi$ 12,5 mm
B	3 $\phi$ 6,3 mm c/3,0 cm
C	3 $\phi$ 6,3 mm c/2,5 cm
D	2 $\phi$ 10,0 mm

Fonte: Autoria própria (2020).

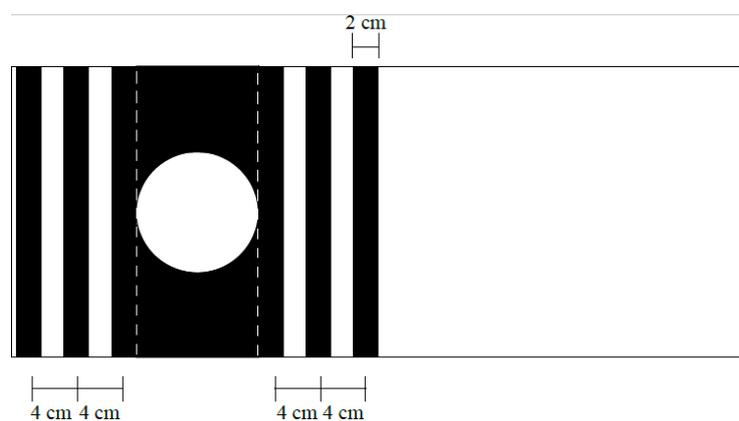
Como não existe uma norma brasileira para os reforços com manta de fibra de carbono, todo o dimensionamento foi baseado no manual da Viapol (2012), que toma como referência as normas americana ACI 440.2R-02 (*Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures*) e ACI 318-99 (*Building Code Requirements For Structural Concrete*). É considerado um sistema parecido com a análise para o dimensionamento de armaduras transversais, onde o objetivo é reforçar as diagonais tracionadas da treliça de Morsch.

O dimensionamento para reforço de aberturas com manta não apresenta uma grande quantidade de estudos, desta maneira adotamos a parcela de força cortante que a manta deverá resistir como sendo igual ao método de Leonhardt e Monning (1978), que foi calculado na seção anterior, tanto para o reforço nos banzos quanto para as regiões adjacentes do furo.

Devido ao tamanho dos banzos, o reforço com a manta naquela região será contínua. Portanto, a manta cobrirá inteiramente os banzos superior e inferior.

Então o reforço ficou determinado como contínuo nos banzos e 2 cm de largura de manta de fibra de carbono com um espaçamento de 4,0 cm, representado na figura 3.

Figura 3 – Detalhamento dos reforços de manta de fibra de carbono



Fonte: Autoria própria (2020).

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao início da pandemia do Covid-19, o trabalho teve que ser pausado. No entanto, o que se pretende ter como resultado, após a confecção das vigas e a realização do ensaio de Stuttgart, verificar se as condições do uso do reforço com a manta de fibra carbono, na região da abertura, será satisfatória, apresentando resultados confiáveis e eficazes, quando comparado com reforço convencional em aço.

Também, espera-se examinar se a integridade dos elementos estruturais atende as prescrições da ABNT NBR 6118: 2014, referentes a pequenas aberturas.

## CONCLUSÃO

A pesquisa não conseguiu chegar ao final com as considerações desejadas. Mas, por meio do dimensionamento de vigas será possível definir a tendência do posicionamento mais e menos favorável à inserção de furos, configurando um alerta na abertura de furos sem a prévia análise.

Pois, o problema é que muitas dessas aberturas são realizadas, durante a execução da obra e muitas vezes quando as vigas já se encontram concretadas. Assim, deseja-se observar a importância de se prever a presença dos furos nas vigas no momento do projeto, para que os reforços das aberturas sejam calculados e dimensionados previamente.

Com a realização dos ensaios será possível evidenciar a eficiência da técnica de reforço proposta, além de reunir informações que podem ser exploradas para se tornarem úteis como critérios de projeto de estruturas recuperadas e reforçadas.

## REFERÊNCIAS

NEVILLE, A. **Propriedades do Concreto - 5ª Edição**. [S.l.]: Bookman Editora, 2015. ISBN 9788582603666.

GLÓRIA SIMÃO, D. W. da. **Análise e dimensionamento de vigas de concreto armado com aberturas na alma**. 2014. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

ABNT. **NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento**. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

SILVA, A. S. C. **Análise de Vigas de Concreto Armado Reforçadas à Flexão e ao Cisalhamento com Fibras de Carbono**. 2016. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal da Bahia, Salvador.

SOUZA, F. C. de; VARGAS, A. **Análise experimental de reforço com fibra de carbono no combate ao cisalhamento em vigas de concreto armado**. 2016. Diss. (Mestrado) – Universidade do Extremo Sul Catarinense.

FARIAS, I. K. M. G. **Influência de furos e aberturas em estruturas de concreto armado - análise de furos horizontais para passagem de tubulações em vigas convencionais**. 2019. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal do Maranhão, São Luís.

SILVA, R. J. C.; ARAÚJO PONTES, A. E. de; SILVA, R. F. da. **Análise Experimental de Vigas de Concreto Armado com Furos na Vertical**. 2016. Diss. (Mestrado) – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral.

CARVALHO, R.; PINHEIRO, L. **Calculo E Detalhamento De Estruturas Usuais De: CONCRETO ARMADO, V.2**. [S.l.]: PINI. ISBN 9788572662765.

LEONHARDT, F.; MONNIG, E. **Construções de Concreto Volume 3**.

VIAPOL. **Manual Fibra de Carbono**. 2002.