

## **INFLUÊNCIA DA TAXA DE AÇO NA CAPACIDADE RESISTENTE DE VIGAS REFORÇADAS COM FIBRA DE CARBONO**

LUCAS WILLIAN AGUIAR MATTIAS<sup>1</sup>, ELIÉDSON RAFAEL DE CARVALHO<sup>2</sup>, JESIMIEL PINHEIRO CAVALCANTE<sup>3</sup>, MALLENA SOARES DA SILVA<sup>4</sup>, JULIANA LIRA BRITO DE CARVALHO<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Mestre em Estruturas, Pesquisador, UTFPR, Curitiba-PR, lucasmattias@ufpr.br;

<sup>2</sup>Mestrando, Professor EBTT, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, eliedson.carvalho@ifal.edu.br;

<sup>3</sup>Doutorando, Professor EBTT, IFAL, Palmeira dos Índios-AL, jesimiel.cavalcante@ifal.edu.br;

<sup>4</sup>Mestranda, Pesquisadora, IFAL, Marechal Deodoro-AL, mss75@aluno.ifal.edu.br;

<sup>5</sup>Mestranda, Pesquisadora, IFAL, Marechal Deodoro-AL, jlb3@aluno.ifal.edu.br;

Apresentado no  
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC  
15 a 17 de setembro de 2021

**RESUMO:** Com as necessidades de intervenção para o aumento da capacidade de carga de vigas, seja para aumentar a durabilidade e vida útil ou para suprir uma necessidade devida ao aumento dos esforços solicitantes, a utilização de Polímeros Reforçados com Fibra de Carbono (PRFC) é cada vez mais comum devido às vantagens apresentadas em relação aos métodos convencionais como a aplicação de chapa de aço ou o aumento da seção em concreto com armadura adicional. O procedimento de dimensionamento é realizado seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118 (2014) e da Norma Americana ACI 440.2R:08, visto que no Brasil não há Norma Técnica para reforço de elementos estruturais com PRFC. Desta forma, necessita-se conhecer melhor os efeitos e as influências que estejam relacionadas à aplicação da fibra de carbono para reforço da capacidade de carga de vigas de concreto. O objetivo deste artigo é analisar a influência da taxa de aço no aumento da capacidade resistente à flexão em vigas de concreto armado. Analisa-se absoluto e percentualmente qual o aumento do momento resistente para diferentes taxas de aço com uma mesma aplicação de reforço. Percebe-se que a fibra de carbono tem mais eficácia para menores taxas de aço e que o ganho percentual da capacidade de carga da viga sofre forte redução com o aumento da taxa de aço.

**PALAVRAS-CHAVE:** Fibra de carbono, reforço estrutural, concreto armado, dimensionamento estrutural.

### **INFLUENCE OF STEEL RATE ON THE RESISTANT CAPACITY OF CARBON FIBER REINFORCED BEAMS**

**ABSTRACT:** With the need for intervention to increase the load capacity of beams, whether to increase durability and useful life or to meet a need due to increased requesting efforts, the use of carbon fiber reinforced polymers is increasingly common due to the advantages presented in relation to conventional methods such as the application of steel sheet or the increase of the section in concrete with additional reinforcement. The calculation procedure is performed following the recommendations of the ABNT NBR 6118 (2014) and American Standard Code ACI 440.2R:08, since in Brazil there is no Technical Standard for reinforcing structural elements with carbon fiber reinforced polymers. Thus, it is necessary to better understand the effects and influences that are related to the application of carbon fiber to reinforce the load capacity of concrete beams. The purpose of this article is to analyze the influence of the steel rate on the increase in the bending strength of reinforced concrete beams. The analysis is performed for absolutely and in percentage what is the increase of the resistant moment for different steel rates with the same reinforcement application. Note that carbon fiber is more effective for lower steel ratings and that the percentage gain in beam load capacity is greatly reduced with increasing steel rating.

**KEYWORDS:** Carbon fiber, structural reinforcement, reinforced concrete, structural design.

## INTRODUÇÃO

As estruturas de concreto armado estão sujeitas, ao longo de sua vida útil, a necessidade de transformações muitas vezes necessitando reforço ou reabilitação em alguns de seus componentes. Segundo Motta e Camargo (2018), destaca-se como fatores para a necessidade de intervenção: falha de projeto ou execução, deterioração ao longo da vida útil, ajustes no layout do pavimento e acidentes envolvendo a estrutura. Além destes, Rouças e Melo (2021) cita a alteração da finalidade dos empreendimentos, que resulta de uma necessidade ou para a ampliação do projeto, que provoca elevação nas cargas solicitantes das estruturas, as quais passaram a não resistir a nova solicitação.

“A técnica de reforço estrutural tem ficado limitada a sistemas tradicionais, como o uso de chapa de aços, estrutura complementar, dentre outros, que exigem manuseio de peças grandes dimensões e cargas elevadas, logística complexa devido à alta concentração de equipamentos” (WANDERLEY *et al.*, 2017). “Atualmente entre os diversos materiais estudados, um dos que mais mereceram a atenção especial de grupos de pesquisa devida as suas características é a fibra de carbono, destacando-se pela baixa densidade em conjunto com uma alta resistência mecânica” (MARTELLO e BLEICHVEL, 2020).

Segundo Machado (2010), compósitos reforçados com fibras são formados por duas fases, uma matriz polimérica a quem cabe a função de manter as fibras que as estruturam coesas, propiciando a transferência das tensões de cisalhamento entre os dois elementos estruturais, e as fibras, que são os elementos estruturais. Segundo Benjamin e Lamêgo (2021), a fibra de carbono teve o início da sua utilização na construção civil no distrito de Kobe (Japão), em 1995, após sismos demandarem uma rápida execução de reforços nas estruturas de construções na região.

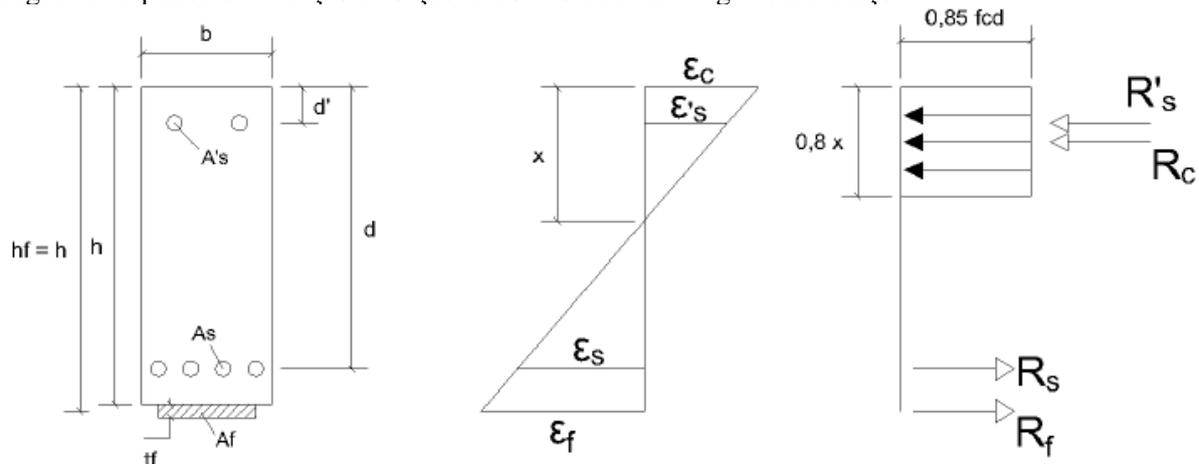
Considerando os avanços tecnológicos e a necessidade de se conhecer melhor os efeitos e influencias que estejam relacionadas à aplicação de PRFC para reforço da capacidade de carga de vigas de concreto armado à flexão, é necessário estudar melhor o efeito que a taxa de aço já existente na viga causa no momento resistente final.

O objetivo deste artigo é analisar a influência da taxa de aço no aumento da capacidade resistente à flexão em vigas de concreto armado. Analisa-se absoluto e percentualmente qual o aumento do momento resistente para diferentes taxas de aço com uma mesma aplicação de reforço com fibra.

## MATERIAL E MÉTODOS

O cálculo estrutural para o momento resistente de uma viga de concreto armado reforçada com fibra de carbono é realizado seguindo as recomendações da ABNT NBR 6118 (2014) e da Norma Americana ACI 440.2R:08. Não há no Brasil nenhum código normativo para reforço de elementos estruturais com fibra de carbono. Como princípio geral, deve-se compatibilizar as deformações e os esforços na seção transversal, conforme esquematizado na Figura 1.

Figura 1. Equilíbrio de forças na seção transversal de uma viga com reforço.



Fonte: Motta e Camargo (2018)

O dimensionamento a flexão é um processo iterativo com duas incógnitas, o momento resistente final e a profundidade da linha neutra. Arbitra-se inicialmente uma profundidade e após o cálculo verifica-se a profundidade calculada, e o processo se repete até convergir a profundidade arbitrada com a calculada.

Este trabalho analisa uma viga biapoiada com seção transversal de 20x60 cm, vão de 6 metros, com carga acidental de 10 KN/m e concreto com Fck de 30 MPa.

Os dados utilizados da fibra são:

Tabela 1. Descrição dos dados de calcula do polímero reforçado com fibra de carbono.

Dados da fibra de carbono		
Resistência da Fibra	3790	Mpa
Número de camadas	2	-
Largura da fibra	20	cm
Área da fibra de carbono	0,66	cm <sup>2</sup>
Espessura da fibra	0,0165	cm
Deformação última da fibra	1,20%	-

Várias configurações de taxa de aço inicial são testadas e verifica-se como se comporta o momento resistente após o reforço comparado com o momento resistente inicial, desta maneira pode-se analisar a influencia da taxa de aço no reforço estrutural com fibra de carbono.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

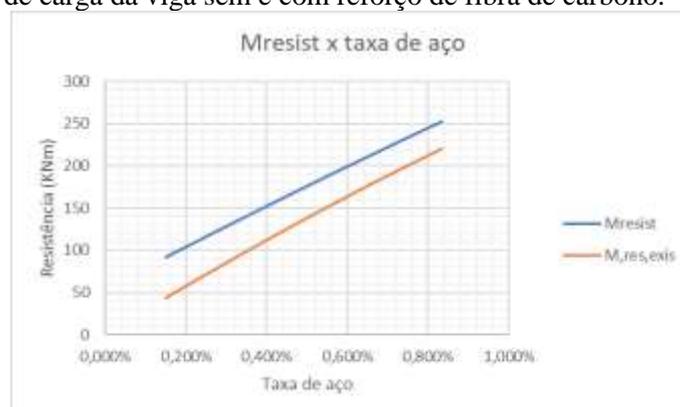
A taxa de aço começa em 0,15% e cresce até corresponder para um momento resistente da viga de concreto armado sem reforço de 220 KNm. Ao todo são analisados 10 configuração para gerar os gráficos de variações de capacidade carga.

Tabela 2. Aumento da capacidade de carga reforçado com fibra de carbono.

M, res, exis	Kx	X LN	As	ps	Af	Mresist	Aumento Mresist	Aumento Mresist
KNm	-	cm	cm <sup>2</sup>	%	cm <sup>2</sup>	KNm	KNm	%
43,5	0,126	7,10	1,80	0,150%	0,66	91,26	47,76	109,79%
60	0,136	7,66	2,50	0,208%	0,66	105,63	45,63	76,05%
80	0,148	8,35	3,38	0,282%	0,66	123,56	43,56	54,45%
100	0,159	8,99	4,26	0,355%	0,66	141,29	41,29	41,29%
120	0,170	9,63	5,17	0,431%	0,66	159,46	39,46	32,88%
140	0,182	10,27	6,09	0,508%	0,66	177,67	37,67	26,91%
160	0,193	10,91	7,04	0,587%	0,66	196,22	36,22	22,64%
180	0,205	11,56	8,00	0,667%	0,66	214,57	34,57	19,21%
200	0,217	12,24	9,00	0,750%	0,66	233,75	33,75	16,88%
220	0,229	12,94	10,02	0,835%	0,66	252,75	32,75	14,89%

A Figura 2 apresenta a variação da resistência da capacidade de carga em função da taxa de aço. Em laranja (M, res, exis) está a capacidade de carga original da viga em concreto armado e em azul (Mresist) da viga com reforço de fibra de carbono.

Figura 2. Capacidade de carga da viga sem e com reforço de fibra de carbono.



Percebe-se que o aumento da taxa de aço corresponde ao aumento da capacidade de carga da viga. Nesta análise a profundidade da linha neutra não excedeu o limite de  $0,45*d$  e, portanto, não necessitou de armadura de compressão.

A Figura 3 apresenta o aumento da capacidade de carga da viga expresso em KNm em função da taxa de aço.

Figura 3. Aumento da capacidade de carga.



Percebe-se que o aumento da taxa de aço na viga representa um aumento em menor magnitude da capacidade de carga. Para  $\rho=0,15\%$  o aumento foi de 47,76 KNm e para  $\rho=0,835\%$  o aumento foi de 32,75 KNm. A diminuição do aumento em valores absolutos não é tão significativa quanto em valores relativos.

A Figura 4 apresenta o aumento da capacidade de carga de forma percentual em relação à resistência original. Se para  $\rho=0,15\%$  o ganho de capacidade de carga foi de quase 110%, já para  $\rho=0,835\%$  o aumento foi de apenas 14,89%. Nota-se que com o aumento da taxa de aço o aumento percentual da capacidade resistente decai muito, o que demonstra uma perda da eficácia da aplicação da fibra de carbono.

Figura 4. Variação percentual do aumento da resistência.



Desta forma, para vigas com elevadas taxas de aço, a aplicação da fibra de carbono perde eficácia, o que pode gerar a necessidade de aumentar a quantidade de camadas para se atingir o momento resistente final. Deve-se analisar as possibilidades de perda de ductibilidade pelo sistema e também pela ruptura abrupta da manta de PRFC.

Segundo Rasheed (2014), além das rupturas relacionadas à flexão (esmagamento do concreto e/ou escoamento do aço), há os modos de ruptura por descolamento ou delaminação. Estes dois modos de ruptura são considerados prematuros. Segundo Silva, Moreno Júnior e Ferreira (2012), deve-se utilizar mecanismos de ancoragem que evitem a ruptura prematura do sistema.

## CONCLUSÃO

Foram Realizados os cálculos da capacidade de carga de vigas para variadas taxas de aço e a capacidade de carga com reforço de fibra de carbono. Como resultados, obteve-se os momentos resistentes finais e a valor do aumento da capacidade de carga. A partir das análises realizadas e mostradas no tópico anterior, pode-se concluir que:

- a) O aumento da taxa de aço ocasiona o aumento da capacidade resistente de vigas de concreto armado à flexão;
- b) Com o aumento da taxa de aço, a magnitude do aumento da capacidade resistente da seção reforçada com fibra de carbono é reduzida. Há aumento, mas é menor para maiores taxas de aço;
- c) Portanto, a fibra de carbono tem mais eficácia para menores taxas de aço. Para suprir a falta perda de eficácia pode-se aumentar a quantidade de camadas ou área de fibra;
- d) O ganho percentual da capacidade de carga da viga sofre forte redução com o aumento da taxa de aço.

Sugere-se, como trabalhos futuros, a análise também do efeito da resistência característica do concreto na capacidade de carga de vigas de concreto armado reforçadas com fibra de carbono. Neste trabalho não se analisou os mecanismos de ruptura por descolamento ou delaminação do concreto, modos quais podem ser objeto de análise em outros trabalhos.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118/2014: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento**. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures** (ACI Committee 440.2R). Farmington Hills: 2008. ISBN: 978-0-87031-285-4
- BENJAMIN, Edinéia Alves; LAMÊGO, Geraldo César. **Reforço Estrutural com a utilização de Fibra de carbono**. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 1, p. 3914-3927, 2021.
- MACHADO, Ari de Paula. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. São Paulo: Viapol, 2010.
- MARTELLO, André; BLEICHVEL, Natália Cristina Thien. **Análise sobre o uso de fibra de carbono e aramida em reforço estrutural**: Ignis: Periódico Científico de Arquitetura e Urbanismo, Engenharias e Tecnologia da Informação, p. 19-39, 2020.
- MOTTA, Gabriel Monteiro; DE CAMARGO, Marcos Vinício. **Planilha para dimensionamento de reforço estrutural com polímero reforçado com fibras de carbono (prfc) em vigas de concreto armado submetidas à flexão simples no estado-limite último**. *Revista Técnico-Científica*, n. 15, 2018.
- RASHEED, Hayder A. **Strengthening design of reinforced concrete with FRP**. CRC Press, 2014.
- ROUÇAS, Marcos Adriani; DE MELO, Tulio Cezar Borges. **Análise Comparativa dos Métodos de Reforço Estrutural a Flexão Utilizando Compósitos em Fibras de Carbono**. XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2021.
- SILVA, Augusto Ottoni Bueno da; MORENO JÚNIOR, Armando Lopes; FERREIRA, Gisleiva Cristina dos Santos. **Capacidade resistente e modos de ruptura de vigas de concreto armado reforçadas à flexão com fibras de carbono**. *Rem: Revista Escola de Minas*, v. 65, p. 297-304, 2012.
- WANDERLEY, Leonardo Victor Pereira et al. **O uso da fita de fibra de carbono como reforço estrutural na construção civil: conhecimento, uso e divulgação**. *Acta Tecnológica*, v. 12, n. 2, p. 137-148, 2018.