

**Artigo original**

**ANÁLISE DA EFICIÊNCIA DA FIBRA DE CARBONO COMO REFORÇO ESTRUTURAL EM PILARES DE CONCRETO ARMADO**

*ANALYSIS OF THE EFFICIENCY OF CARBON FIBER AS STRUCTURAL STRENGTHENING IN REINFORCED CONCRETE PILLARS*

Ismael ribeiro Vasconcelos Neto<sup>1</sup>, Mara Bruna Silveira Muniz<sup>1</sup> Ricardo José Carvalho Silva<sup>1</sup>

**RESUMO**

A fibra de carbono, por ser um material com excelentes propriedades físicas, é utilizada atualmente nas mais diversas aplicações. Uma delas refere-se ao seu uso como reforço para estruturas de concreto. Estando as estruturas em constante processo de degradação, eventualmente elas precisam de reforço ou reparação, já que o concreto possui durabilidade limitada e apresenta diversas manifestações patológicas ao longo do tempo. Devido a isso, um material como a fibra de carbono, que possui boas características e se mostra muito eficiente em diversas aplicações, merece ser estudado. Por ser uma técnica de reforço recente e devido à carência de estudos acerca de sua eficiência, a utilização da fibra nas estruturas de concreto ainda é limitada. Portanto, a partir da realização de ensaios experimentais, desenvolveu-se um estudo com o objetivo de analisar a eficiência de diferentes formas de aplicação da fibra de carbono em pilares curtos de concreto armado submetidos a diferentes tipos de esforços, para comprovar a sua eficiência como técnica de reforço estrutural. Este artigo apresenta algumas formas de utilização desse material para analisar o seu comportamento, que são a utilização da fibra de carbono em diferentes quantidades e orientações. Observou-se que, de maneira geral, o reforço se mostrou eficiente nas aplicações propostas.

**Palavras-chave:** Reforço. Pilares. Fibra de carbono.

**ABSTRACT**

*Carbon fiber, being a material with excellent physical properties, is used in the most diverse applications. One of them refers to its use as strengthening for concrete structures. As the structures are in constant process of degradation, eventually they need strengthening or repair, since the concrete has limited durability and shows several pathologic manifestations over time. Due to this, a material like carbon fiber, that has good characteristics and shows to be very efficient in different applications, needs to be studied. Because it is a recent strengthening technique and due to the absence of efficiency studies, usage of fiber in concrete structures is still limited. Therefore, the objective of this study, with the execution of some experimental tests, is to analyze the efficiency of different ways of applying the carbon fiber in short columns of reinforced concrete submitted to different types of efforts, to prove their efficiency as a technique of structural strengthening. This paper presents some usage ways of material to analyze its behavior, which are the usage of fiber in different quantities and orientations. It was observed that, in general, the strengthening was efficient in the proposed applications.*

**Keywords:** Strengthening. Columns. Carbon fiber.

---

<sup>1</sup>Cuso de Engenharia Civil. Departamento de Ciências Exatas e da Terra. Universidade Estadual Vale do Acaraú. Sobral, CE. E-mail autor correspondente: ismaelribeiro01@gmail.com

## INTRODUÇÃO

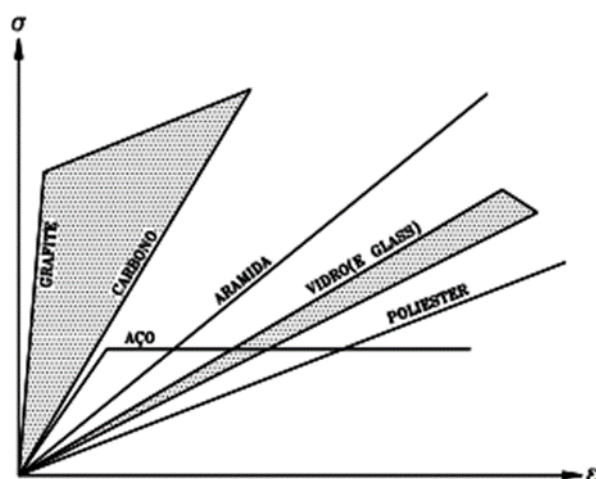
Os elementos estruturais de uma edificação têm a função de assegurar sua integridade e desempenho ao longo do tempo, por isso, a durabilidade desses elementos construtivos sempre foi uma grande preocupação dos profissionais da Engenharia Civil. O concreto, assim como qualquer outro material, apresenta problemas ao longo de sua vida útil que podem comprometer as estruturas de concreto armado e, conseqüentemente, a edificação como um todo.

Diante disso, recorre-se à recuperação e ao reforço das estruturas, que, de acordo com Reis (2001), constituem um forte segmento da indústria da construção civil para atender a necessidade de restabelecer as condições originais das estruturas danificadas (recuperação), ou de promover adequações da capacidade resistente das estruturas em função do uso (reforço).

Estando a área da Engenharia Civil em constante evolução, surgem diversos métodos de reforço estrutural, além da melhoria dos métodos já existentes. Dentre os métodos convencionais que são amplamente utilizados, segundo Carrazedo(2002) é possível destacar o reforço com utilização de perfis metálicos e o aumento da seção ou encamisamento com concreto armado. Mas além dos métodos já consolidados, constantemente são desenvolvidos novos materiais e novas técnicas, como é o caso do reforço com compósitos de polímeros reforçados com fibras (FRP).

Dentre as características e vantagens do reforço com FRP, a norma americana ACI-440 cita alta resistência longitudinal à tração, resistência à corrosão, antimagnetismo, alta resistência à fadiga (varia com o tipo de fibra) e leveza (cerca de 1/4 a 1/5 da densidade do aço). De acordo com Callister (2011), a fibra de carbono possui o maior módulo específico e a maior resistência específica dentre todas as fibras de reforço. Através da Figura 1 é possível ver um gráfico comparativo das tensões e deformações específicas das fibras de diferentes tipos de matérias.

**Figura 1** – Diagrama tensão normal x deformação específica.



Fonte: Machado (2011).

Assim, a pesquisa aqui apresentada teve como proposta analisar a eficácia do uso de sistemas compostos estruturados com fibra de carbono como reforço estrutural para pilares de concreto armado.

## METODOLOGIA

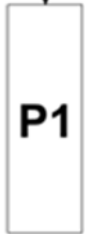
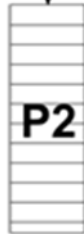

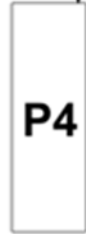
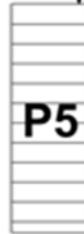

Para a realização da pesquisa foram ensaiados seis pilares curtos de 50cm de altura e com seção transversal de 10cm x 10cm. Todos foram produzidos com o mesmo concreto, com resistência característica de 24,95 MPa, e com as mesmas armaduras longitudinais e transversais, de 8mm e 5mm de diâmetro, respectivamente.

Os pilares foram divididos e agrupados de acordo com a excentricidade da carga que foi aplicada e com o tipo de reforço utilizado. O primeiro grupo foi submetido a uma carga axial centralizada que foi incrementada até a ruptura. Ele foi composto de três pilares: o primeiro sem nenhum tipo de reforço, que seria um pilar de referência, outro com reforço com duas camadas de fibra de carbono aplicadas horizontalmente envolvendo todo o pilar, e o último também com duas camadas, mas aplicadas diagonalmente a 45°, uma sobreposta à outra em sentidos opostos. O segundo grupo, composto dos outros três pilares, apresentava os mesmos tipos de reforço do primeiro, mas recebeu cargas excêntricas de 2cm do centro do pilar. As características dos pilares, a forma como foram classificados para a realização dos ensaios, bem como o tipo de reforço utilizado em cada um, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** – Classificação dos pilares.

PILAR	P1	P2	P3	P4	P5	P6
SEÇÃO	10x10	10x10	10x10	10x10	10x10	10x10
fc (MPa)	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95	24,95
EXCENTRICIDADE	0	0	0	2 cm	2 cm	2 cm

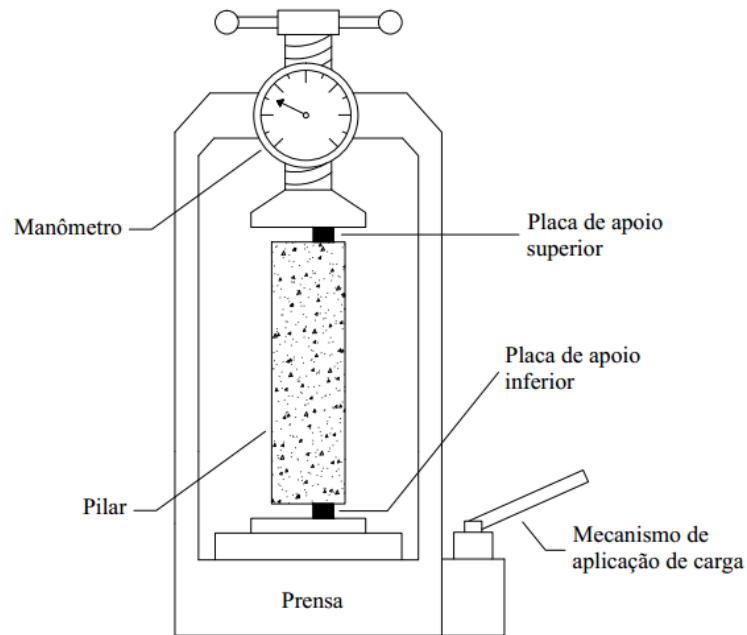
REFORÇO	P1	P2	P3	P4	P5	P6
						
	Sem reforço	2 cam. horiz.	2 cam. inclin.	Sem reforço	2 cam. horiz.	2 cam. inclin.

Fonte: autoria própria.

Na Figura 2 é possível ver alguns dos pilares já com o reforço aplicado e um dos pilares de referência prontos para serem ensaiados.

Os ensaios foram realizados com a utilização de uma prensa universal, na qual foi aplicada uma carga axial até o rompimento e foram medidas as cargas de ruptura das peças. A Figura 3 apresenta de forma simplificada como o ensaio foi feito.

**Figura 3** - Desenho esquemático do ensaio realizado.



Fonte: autoria própria.

Apesar de os seis pilares ensaiados (dois sem reforço e quatro reforçados) terem dimensões reduzidas, neste estudo não foi feita nenhuma correlação com um protótipo de dimensões reais através da análise quantitativa via análise dimensional e leis da similaridade. O objetivo foi fazer uma análise qualitativa, comparando-se os resultados dos pilares reforçados com os pilares não reforçados (pilares de referência).

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

De maneira geral, os dados obtidos corresponderam ao esperado. Os pilares sem reforço foram aqueles que suportaram menores cargas. Já os com reforço suportaram cargas mais elevadas e bem maiores que as aplicadas nos pilares iniciais. Vale ressaltar que, para cargas concêntricas, os pilares reforçados com fibras horizontais apresentaram melhores resultados, mas nos pilares que receberam cargas excêntricas as fibras inclinadas foram mais eficientes.

As cargas a compressão resistidas pelos pilares estão apresentadas na Tabela 2.

**Tabela 2** – Cargas obtidas.

Pilar	Carga (KN)
P1	50
P2	89
P3	67
P4	47
P5	63
P6	69

Fonte: autoria própria.

Com base nos dados obtidos, é possível analisar a resistência à compressão dos pilares. É notório e significativo o ganho de resistência dos pilares reforçados com a fibra de carbono.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir dos dados adquiridos nos ensaios realizados, fica evidenciada a eficácia da utilização da fibra de carbono como reforço estrutural para ganhos de resistência à compressão. Foi possível perceber, através dos resultados, que os pilares reforçados com fibra de carbono apresentaram cargas de ruptura bem maiores que os pilares de referência, tanto para a aplicação de cargas centradas quanto de cargas excêntricas.

O reforço de pilares de concreto armado com compósitos de fibra de carbono apresenta vantagens em comparação com outras técnicas já utilizadas. O uso do próprio concreto como material de reforço, ou mesmo o uso de chapas de aço, necessita de amplo espaço ao redor da estrutura, além de aumentar significativamente a sua carga e dificultar o processo. Nesse sentido, a utilização da fibra de carbono se torna uma alternativa mais fácil e rápida.

É importante destacar, finalmente, que as conclusões obtidas neste trabalho se restringem apenas aos resultados dos ensaios dos pilares aqui apresentados.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. *ACI 440R-96: State-of-the-Art Report on Fiber Reinforced Plastic (FRP) Reinforcement for Concrete Structures. USA, 2002.*

ARALDI, E. *Reforço de Pilares por encamisamento de concreto armado: eficiência de métodos de cálculo da capacidade resistente comparativamente a resultados experimentais. Trabalho de Diplomação Engenharia Civil – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2013.*

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. ABNT:Rio de Janeiro, 2014.*

CARRAZEDO, R. (2002). *Mecanismos de confinamento e suas implicações no reforço de pilares de concreto por encamisamento com compósito de fibras de carbono. São Carlos, 2002. 173p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.*

HABITZREUTER, L.; ROSS, H. L. S.; SANTOS, G. M. S. *Análise da eficiência do reforço estrutural com fibra de carbono em pilares curtos. 2013. 62. Trabalho de Conclusão de Curso Bacharelado em Engenharia de Produção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2013.*

MACHADO, A. de P. *Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibras de carbono. São Paulo: Better, 2011.*

REIS, L. S. N. *Sobre a recuperação e reforço das estruturas de concreto armado. Dissertação de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.*