

# COMPORTAMENTO DE PILARES CONFINADOS POR MANTA DE FIBRA DE CARBONO

Pedro Bina Augusto <sup>1</sup>; Fabio Selleio Prado <sup>2</sup>

<sup>1</sup> Aluno de Iniciação Científica do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT);

<sup>2</sup> Professor do Instituto Mauá de Tecnologia (IMT).

**Resumo.** *A utilização de fibra de carbono (CFRP) como reforço estrutural em elementos de concreto armado está cada vez mais difundida no Brasil e no mundo. A sua principal utilização é para reforçar elementos submetidos à flexão e à força cortante, porém, as normas internacionais também sugerem expressões de cálculo para o reforço à compressão de pilares. Neste caso, o reforço seria pelo confinamento do concreto, pois, este possui um ganho de resistência quando confinado. Entretanto, existem dúvidas quanto à efetividade do reforço quando o pilar já está comprimido, ou seja, qual o máximo carregamento que o pilar pode receber no instante do reforço. Com base no estudo da efetividade de pilares confinados, realizou-se o experimento em 16 espécimes prismáticos, os quais foram divididos em três categorias: pilares sem confinamento, pilares com confinamento e pilares com confinamento e pré-carregados. Com base nos resultados dos espécimes sem confinamento, foi estipulado o pré-carregamento para 8 corpos de provas, seguido do encamisamento com CFRP e posteriormente realizaram-se os ensaios de compressão. Os dados obtidos nos ensaios mostraram que o pré-carregamento não surtiu efeito significativo nos espécimes; constando-se um ganho de resistência nos pilares confinados, evidenciando o potencial do uso dessa técnica, mesmo sob pré-carregamento.*

## Introdução

O reforço de estruturas de concreto armado tem sido uma área de pesquisa e desenvolvimento significativa na engenharia civil, especialmente diante das demandas por reforços estruturais mais resistentes, duráveis, leves e que gerem pouco impacto na arquitetura e uso da estrutura. Uma das técnicas emergentes nesse contexto é o uso de fibra de carbono (CFRP) para o reforço de pilares de concreto armado. Destacando-se como uma alternativa promissora, além das características mecânicas, sendo de rápida e fácil execução.

Neste contexto, esta pesquisa se propõe a explorar os benefícios, desafios e aplicações do uso de fibra de carbono como material de reforço para pilares de concreto armado e danificados com uma tensão prévia de compressão, gerando um confinamento. A compreensão desses aspectos é fundamental para o avanço da engenharia estrutural e para a implementação de soluções inovadoras que atendam às demandas crescentes por estruturas mais eficientes e sustentáveis.

O confinamento pode ser entendido como a restrição da deformação lateral dada pelo efeito de Poisson, quando um elemento é submetido a cargas axiais. No concreto armado, essa restrição pode ser obtida com a aplicação de pressão ativa contrária à deformação ou, de forma passiva, por meio de armaduras transversais, camisas envolventes ou no caso deste trabalho, com mantas de fibra de carbono. Sendo o concreto um material friccional, quando submetido a tensões confinantes, apresenta ganho de resistência e ductilidade (Prado, 2023).

Na literatura, encontra-se diversos autores que discorreram sobre o tema, como Paultre e Eid et al (2016), realizou estudos sobre a CFRP usada como reforço em estruturas abaladas

por terremotos, Ferrotto et al (2017), observou o seu uso em espécimes cilíndricas e pré-carregadas, L. Lam e J.G. Teng (2003), cujo trabalho e proposta de expressões de cálculo serviu como base para a ACI 440.2R-17. Embora, esses e diversos autores investigaram o comportamento de pilares confinados por CFRP, nota-se que foram usados espécimes cilíndricos, ou não foram adotadas uma tensão de pré-compressão em sua avaliação.

Segundo Meira (2009), com a fissuração do concreto, o confinamento aumenta a sua resistência à compressão, reduzindo a expansão do concreto fissurado e o aumento da deformação máxima do concreto. Esse confinamento é pouco eficiente para deformações de até 2 ‰, principalmente para confinamentos mais flexíveis como pelos estribos e reforço por encamisamento com fibra de carbono. Assim, surge o questionamento se este reforço com manta de fibra de carbono será eficiente para pilares que já possuem carregamentos aplicados, que gerem deformações próximas dos 2 ‰, ou mesmo para valores menores.

## Material e Métodos

Os testes de compressão foram feitos em 16 corpos de prova prismáticos, cujas dimensões apresentavam uma seção de 150x150 mm e uma altura de 400 mm. Os corpos de prova tinham o mesmo traço de concreto e a mesma armadura em sua composição, aço fid-10. Além dos corpos de prova se seção retangular, foram feitos 12 corpos de prova cilíndricos, cujas dimensões são 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura, obtendo uma proporção de 1:2 (NBR 5738, 2015); com a finalidade de atestar as propriedades do concreto.

Os espécimes foram preparados em 10 fôrmas retangulares feitas de ferro fundido com seção de 150 x 150 mm e altura de 600 mm, como o maquinário limita a altura dos corpos de prova em 400 mm, coloca-se um anteparo nas fôrmas para assim atingir a altura desejada, conforme a Figura 1. Além disso, os espécimes cilíndricos foram executados em fôrmas de plástico cilíndricas, com as dimensões estabelecidas, conforme a Figura 2.

Figura 1: Fôrma para os corpos de prova prismáticos



Figura 2: Fôrma para os corpos de prova cilíndricos



Após o preparo dos corpos de prova e de sua respectiva cura, o ensaio à compressão pode ser sumarizado da seguinte forma: Primeiro, obtém-se as propriedades mecânicas do concreto, por meio do ensaio de módulo e compressão dos espécimes cilíndricos, seguindo o mesmo escopo para 4 pilares prismáticos, sendo esses a referência. Após esses dois ensaios, executa o pré-carregamento nos pilares, nas faixas de 20%, 40%, 60% e 80% da tensão de ruptura ( $\sigma_{rup}$ ), sendo postos as mantas de fibra de carbono (CFRP), encamisando os pilares prismáticos. Em seguida, rompe-se os pilares com reforço observando os resultados.

## CARACTERÍSTICAS DO CONCRETO UTILIZADO

O objetivo era que o concreto tivesse uma resistência à compressão de 30 a 40 MPa, visto que o objetivo do ensaio não era atestar a CFRP em concretos de alta resistência a compressão (e.g. J. Yang, 2018 utilizou um concreto de até 112 MPa em suas pesquisas). Assim, foi estipulado um traço de concreto com cimento, areia, brita 0, brita 1 e água, seguindo essa razão: 1:2:1,2:1,8:≤0,60, podendo ser observado na Tabela 1.

Tabela 1: Traço em kg dos materiais usados para fazer o concreto para moldar todos os corpos de prova

Modelagem	Cimento (kg)	Areia (kg)	Brita 0 (kg)	Brita 1 (kg)	Água (L)	Abatimento (mm)	a/c
1	16,8	34,94	20,2	30,2	9,70	80	0,58
2	22,8	47,42	27,40	41,0	13,30	90	0,58

Estipulado o traço e pesado os materiais, com o auxílio da betoneira, foi executada a pasta de concreto que foram feitos os espécimes apresentados. A sua execução se deu colocando primeiramente, as britas 0 e 1, colocando um terço da água estipulada, em seguida, despejou-se a areia e, adicionalmente, um terço da água, por último adiciona-se o cimento e o restante da água.

Conforme a NBR 16889:2020 determinou-se a consistência pelo abatimento do troco cone, ou *slump test*, após a mistura na betoneira. O concreto foi posto em um tronco cone em três camadas, adensadas com 25 golpes cada. Retirado o cone, determinou-se o abatimento em, conforme a Tabela 1, 80 e 90 mm indicando um estado coeso e sem vazios aparentes do concreto, possibilitando a modelagem dos corpos de prova.

## DESENVOLVIMENTO DOS CORPOS DE PROVA

Aplicado uma fina camada de desmoldante nas fôrmas, submeteu-se o concreto feito, cobrindo totalmente a fôrma, seguido da aplicação do vibrador de concreto, com o objetivo de garantir a adequada densidade do material, eliminando qualquer vazio, ou bolhas de ar, que, inevitavelmente, forma-se no despejo do concreto no molde. Após sua aplicação que se resume, aplicá-lo em 3 pontos distintos da forma, aplicando em cada ponto por 5 segundos. Retificou-se a sua superfície com uma colher de pedreiro deixando-a lisa, como as adjacentes faces da fôrma, o resultado é mostrado na figura 3.

Figura 3: Resultado do cimento presente no forma, após o vibrador de concreto



Após 2 dias, desmoldou-se os corpos de prova, para colocá-los na câmara úmida, a fim de que se faça a cura do concreto, sendo que nesses dois dias foi necessário umedecer a sua

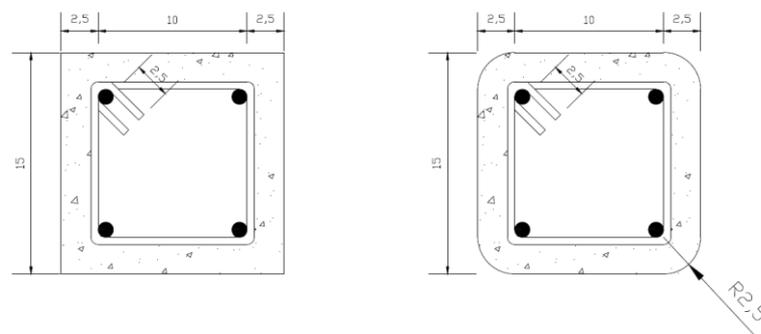
superfície. O processo de cura do concreto tem como objetivo controlar a sua perda de água durante suas reações químicas. Visto que as reações que ocorrem internamente no concreto são exotérmicas, assim, o controle de temperatura se dá por manter sua superfície hidratada, além disso, ajuda no crescimento dos cristais C-S-H, silicato de cálcio hidratado, o quais são responsáveis pela durabilidade e resistência do concreto (Mehta, P. K., 1994). Assim, são deixados os espécimes por 28 dias na câmara úmida, conforme a imagem 4.

Figura 4: Corpos de prova dentro da câmara úmida



Após 28 dias de cura, foi selecionado 12 pilares, que seriam submetidos ao encamisamento pela CFRP, para ter seus cantos chanfrados, arredondados, (ACI 440.2R-17, 2017), têm-se como objetivo evitar a tensão de cisalhamento que seria acumulada nos extremos dos corpos de prova, inutilizando, assim, a manta. Assim, como mostrado na representação gráfica foi chanfrado os quatro cantos dos 12 pilares.

Figura 5: Vista superior dos pilares antes e após o arredondamento dos seus cantos



## PROPRIEDADES MECÂNICAS DO CONCRETO

Após os 28 dias de cura do concreto, tomou-se os corpos de prova cilíndricos para comprovar os dados estipulados a respeito do concreto requisitado no experimento. Assim, primeiramente, os corpos de prova têm suas superfícies retificadas.

Em seguida foram tomadas as medidas de seu diâmetro e altura, visto que existe uma perda de material durante a retifica. Após reiterar suas propriedades geométricas, submeteu-os a Prensa Servo Cap 200TN Modulo EL. 2, SOLOTEST, a qual foi designada para atestar a resistência à compressão do concreto, como seu módulo.

O ensaio foi feito através do posicionamento centralizado do espécime na prensa, como indicado na figura 6, no caso do módulo os mesmos parâmetros apresentados são satisfeitos, ademais, foi instalado um extensômetro para medir sua deformação, não rompendo-os durante o ensaio do módulo de elasticidade, como mostrado na figura 7.

Figura 6: Teste da resistência à compressão do concreto



Figura 7: Teste do módulo de elasticidade do concreto



Seguindo o modelo apresentado obtém-se a resistência média à compressão ( $f_{cm}$ ) e seu módulo de elasticidade, sendo designado 6 corpos de prova para o módulo, sendo seu ensaio conforme a NBR 8522-1, onde o corpo de prova foi carregado com 30% da resistência à compressão e descarregado, novamente foi carregado até a tensão básica de 0,5 MPa, registrando as deformações durante o carregamento e descarregamento. Assim, os resultados são apresentados conforme a Tabela 2.

Tabela 2: Resistência à compressão e o módulo de elasticidade do concreto

Corpo de Prova	D $\phi$ (mm)	h (mm)	A (mm <sup>2</sup> )	h/D $\phi$	Carga máxima (kN)	Tensão máxima (MPa)	Módulo de Elasticidade (MPa)
CP-1	100,50	190,63	7931,9	1,897	355,07	44,77	-
CP-2	100,16	195,27	7879,1	1,950	344,97	43,78	-
CP-3	100,50	196,92	7931,9	1,960	339,88	42,85	-
CP-4	100,75	194,01	7971,4	1,926	350,30	43,95	-
CP-5	99,51	193,83	7777,2	1,948	324,13	44,76	-
CP-6	100,33	194,12	7905,9	1,935	355,25	44,94	27,60
CP-7	100,42	194,88	7919,3	1,941	340,25	42,97	30,45
CP-8	100,22	196,95	7888,6	1,965	354,17	44,90	28,25
CP-9	100,83	198,48	7984,9	1,969	354,78	44,43	35,72
CP-10	100,10	195,32	7868,9	1,951	353,86	45,36	40,00
CP-11	99,67	197,14	7802,2	1,978	345,16	44,24	29,65
CP-12	100,34	195,27	7906,7	1,946	349,547	44,21	-
Média	100,28	195,24	7897,35	-	349,28	44,26	31,95

### PRÉ-CARREGAMENTO DOS PILARES

Após arredondar os cantos dos 12 pilares, 4 foram usados como referência para resistência à compressão (média de 836,78 kN). Os demais foram pré-carregados com 20%, 40%, 60% e 80% dessa força, resultando em forças de 167,36; 334,71; 502,07 e 669,42 [kN] respectivamente.

Embasado no método utilizado para determinar a compressão do concreto, idem aos pilares pré-carregados, onde foram posicionados de forma centralizada na prensa, e comprimidos até a razão da tensão máxima de ruptura estipulada, que fora tirada dos 4 pilares de referência, como demonstrado nas figuras 8 e 9 sendo que um desses pilares apresentou irregularidade na superfície, o qual teve de ser rejeitado.

Figura 8: Pré-carregamento á 60% da carga de ruptura



Figura 9: Ensaio de resistência à compressão do pilar prismático



As duas imagens servem de exemplo para a execução dos demais pilares. Assim, estudou-se o uso da manta de fibra de carbono em diferentes níveis de deformação prévia do pilar.

### APLICAÇÃO DA MANTA DE FIBRA DE CARBONO

Após o pré-carregamento dos pilares, foi posta a CFRP encamisando os pilares, além dos pilares pré-carregados também foi reservado 4 pilares que não foram submetidos ao pré carregamento, onde um dos pilares não foi confinado corretamente apresentando uma ruptura prematura, sendo descartado. Assim sendo, têm-se três pilares confinados sem o pré-carregamento adicionalmente, 8 pilares pré-carregados e confinados com a CFRP. Todos os pilares foram confinados com 3 camadas de fibra, além de um trespasse de 10 cm em cada.

Para a aplicação da manta de fibra de carbono, primeiramente, foi lixado mecanicamente as superfícies que ficariam em contato com a manta em seguida as superfícies foram limpas com uma pistola de ar comprimido, visto que imperfeições e a poeira trazem efeitos indesejados para a manta, rasgando-a quando o pilar for submetido à compressão, inutilizando seus efeitos confinantes (Carnio et al, 2013).

Após a limpeza, aplicou-se uma camada de Tix Fiber C em toda a área que seria instalada a CFRP, sendo essa resina, usada tanto para colar a fibra no corpo de prova, quanto retificá-lo, eliminando qualquer imperfeição, logo em seguida aplicou-se a manta esticando-a na superfície, logo após passou-se um rolo espiral metálico, o qual comprimiu a manta sobre o adesivo removendo bolhas de ar.

Após sua colagem, aplicou-se o adesivo epóxi Fiber C (impregnante), com o objetivo de laminar o sistema, novamente, usou-se o rolo espiral metálico, evitando a formação de bolhas, além de acomodar a fibra sobre a superfície, como apresentado nas figuras 10 e 11. Sendo esse processo realizado 3 vezes, um para cada camada de manta. Segundo o Boletim Técnico Adesivo manta Fiber C, após sua aplicação deve-se dar a cura final na resina de 7 dias.

Figura 10: Representação da aplicação da manta, segundo a Quartzolit

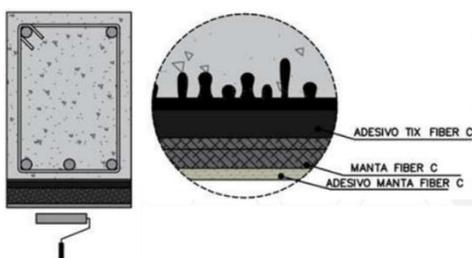


Figura 11: Encamisamento dos pilares pré-carregados



## RUPTURA DOS CORPOS DE PROVA

Após a aplicação da manta e a cura da resina por 7 dias. Os pilares confinados, sem e com o pré-carregamento foram submetidos ao ensaio de compressão, seguindo os mesmos passos apresentados, onde o pilar foi posto na prensa centralizado. Contudo, além do pilar ser submetido à compressão até a sua ruptura, foi estipulado uma continuação do ensaio, onde a prensa iria comprimir o pilar até 50% de sua carga crítica, possibilitando obter uma análise visual do efeito de confinamento da manta, como apresentado nas figuras a seguir:

Figura 12: Ensaio de compressão no pilar confinado e pré-carregado



Figura 13: resultado visual após a ruptura do pilar pré-carregado e confinado



Sendo esses ensaios, apresentados nas figuras 12 e 13, estenderam-se para os demais corpos de prova pré-carregados e confinados.

### **Resultados e Discussão**

Com a finalidade de estudar os resultados obtidos por meio dos ensaios de compressão dos pilares, pode-se coletar os dados fornecido pelos sensores da máquina e plotar os devidos gráficos e comparar os resultados dos pilares de referência com os pilares confinados, a fim de averiguar se a CFRP apresenta um bom desempenho no reforço dos espécimes e se consegue controlar a deformação causada pelo pré-carregamento.

Primeiramente, observa-se os resultados dos 3 pilares de referência apontados no estudo e apresentados no gráfico 1 e os resultados na tabela 3.

Gráfico 1: Ensaios de resistência à compressão dos pilares de referência

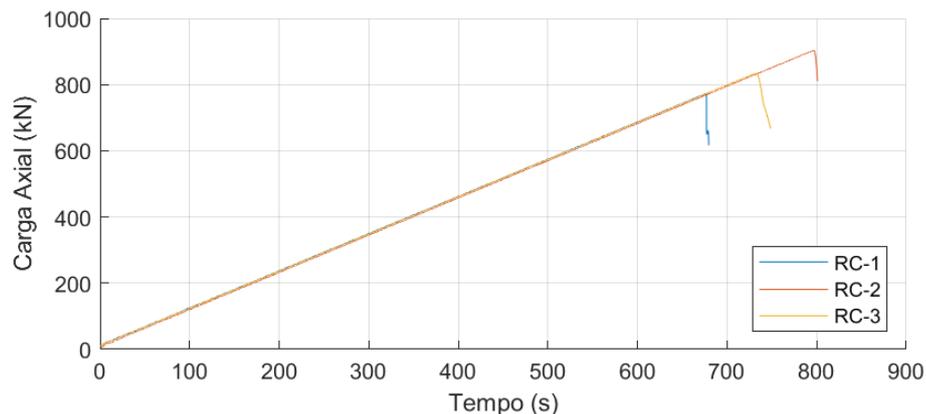


Tabela 3: Resultado dos ensaios de compressão dos pilares de referência

	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>teórico</sub> (kN)	F (kN)	σ <sub>teórico</sub> (MPa)	σ <sub>experimental</sub> (MPa)
RC-1	22500	890,71	772,65	39,59	34,340
RC-2	22500	890,71	903,52	39,59	40,156
RC-3	22500	890,71	834,17	39,59	37,074
Média	22500	891	836,78	40	37,190

Com base nos resultados observa-se uma tensão de compressão média de 836,78 kN, bem como uma ruptura frágil nos pilares de referência, após a carga máxima.

Como explanado em materiais e métodos, os resultados apresentados nesse ensaio foram base para determinar o pré-carregamento. Além disso, o cálculo teórico é dado pela expressão:

$$F_{teórico} = A_{st} \cdot \sigma_y + (A_g \cdot \sigma_c \cdot 0,85 \cdot \eta_c) \quad (eq. 1)$$

Onde A<sub>st</sub> corresponde a área de seção do aço, σ<sub>y</sub> a tensão de escoamento do aço, A<sub>g</sub> a área da seção, σ<sub>g</sub> a tensão de ruptura do concreto e η<sub>c</sub> é uma constante da fragilidade do concreto concedida através da equação:

$$\eta_c = \left(\frac{30}{f_{ck}}\right)^{\frac{1}{3}} \quad (eq. 2)$$

Observado ambos os fatores teóricos, que servirão de base para demais ensaios. Têm-se os gráficos dos espécimes confinados, juntamente com seus resultados em tabulados.

Gráfico 2: resultado do ensaio à compressão de pilares confinados

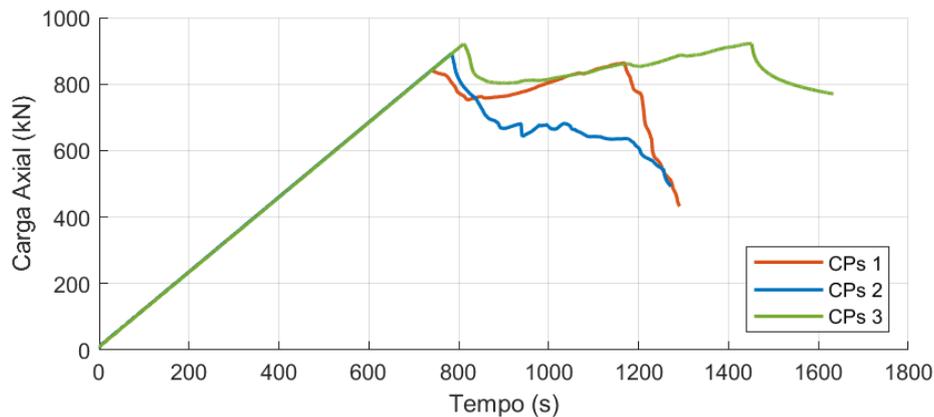


Tabela 4: Ensaio de compressão em pilares confinados sem o pré-carregamento

	A (mm <sup>2</sup> )	F <sub>teórico</sub> (kN)	F <sub>exp.</sub> (kN)	σ <sub>teórico</sub> (MPa)	σ <sub>exp.</sub> (MPa)
CPs 1	22500	1145,30	863,465	50,90	38,376
CPs 2	22500	1145,30	890,026	50,90	39,557
CPs 3	22500	1145,30	922,026	50,90	40,098
Média	22500	1145	892	51	39

Com isso, os resultados dos pilares confinados, mas sem o pré-carregamento indicam um ganho de resistência após sua ruptura, além de uma ruptura dúctil, diferentemente dos pilares sem estarem confinados.

Além disso, para os cálculos teóricos a equação 1 é alterada onde a tensão de ruptura do concreto ( $\sigma_c$ ) é substituída pela tensão do concreto confinado ( $\sigma_{cc}$ ):

$$F_{teórico} = A_{st} \cdot \sigma_y + (A_g \cdot \sigma_{cc} \cdot 0,85 \cdot \eta_c) \quad (eq. 3)$$

Subsequente ao ensaio dos corpos de prova confinados sem o pré-carregamento, embasado em ambas as teorias apresentadas, resume-se por meio do gráfico 3 juntamente com a tabela 5 os resultados dos pilares pré-carregados.

Gráfico 3: Ensaio de compressão dos espécimes pré-carregados

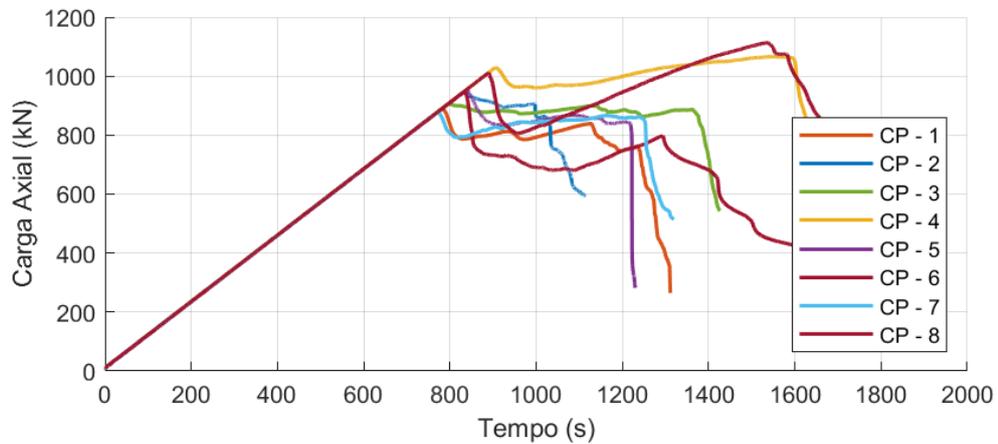


Tabela 5: Média dos resultados dos corpos de prova pré-carregados e confinados

CP	Área (mm <sup>2</sup> )	F <sub>teórico</sub> (kN)	F <sub>exp.</sub> (kN)	$\sigma_{teórico}$ (MPa)	$\sigma_{exp.}$ (MPa)
CP 1-2 (20%)	22500	1145,3	917,58	50,90	40,78
CP 3-4 (40%)	22500	1145,3	986,96	50,90	43,86
CP 5-6 (60%)	22500	1145,3	949,31	50,90	42,19
CP 7-8 (80%)	22500	1145,3	995,75	50,90	44,26

Por meio do gráfico 3 e da tabela 5, observa-se que a deformação pré existente não levou a resultados significativamente diferentes, por exemplo, nos CP-7 e CP-8 foi registrado uma força média de 996 MPa, sendo maior que a força de ruptura dos pilares de referência. Além disso, observa-se que todos os pilares apresentaram um ganho de resistência após a tensão máxima comprovando os efeitos de confinamento da manta de fibra de carbono, além do aumentado da ductibilidade na ruptura dos espécimes.

Tabela 6: Comparação com o resultado teórico e experimental

	Pilar referência	Pilar reforçado	Pilar reforçado e Pré-carregado			
			(20%)	(40%)	(60%)	(80%)
média	836,78	892	918	987	949	996
reforço/referência	-	7%	10%	18%	13%	19%
Exp./Teórico	94%	78%	80%	86%	83%	87%

Comparando os resultados obtidos nos três gráficos apresentados e conforme a tabela 6, obtém-se a média da resistência à compressão dos pilares ensaiados. Assim, quando se compara os resultados dos pilares reforçados com os de referência, observa-se um ganho de resistência média de aproximadamente 13%, como sugere o princípio do confinamento em pilares de concreto. Além disso, foi avaliado quanto o modelo experimental se aproxima do teórico, o qual apresenta uma diferença média de 15% dos resultados estipulados, resistindo menos do que o esperado.

## Conclusões

O experimento avaliou o desempenho da manta de fibra de carbono na resistência de pilares de seção prismática danificados pelo pré-carregamento. Os ensaios de compressão demonstraram aumento de resistência e ductilidade nos pilares confinados, indicando que a deformação causada pelo pré-carregamento foi mitigada pela CFRP, conforme o princípio de confinamento em estruturas de concreto armado.

A discrepância entre os resultados teóricos e experimentais foi atribuída as seguintes hipóteses: falhas na segunda e terceira camadas de CFRP, impactando no confinamento dos espécimes; dificuldade de sua aplicação, tendo apenas uma pessoa para aplicá-las, e inadequação nos chanfros e transpasses, que não seguiram rigorosamente as recomendações.

O estudo apresenta resultados satisfatórios que comprovam a eficácia da CFRP em pilares de concreto armado pré-carregado de seção prismática, mas recomenda novos experimentos para validar os resultados e fundamentar normas futuras.

## Referências Bibliográficas

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.2R-17: **Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures**. Farmington Hills, Mich., 2017.

CARNIO, Marco Antônio; *et al.* **Reforço de elementos estruturais de concreto com sistemas de polímeros reforçados com fibras (FRP) aplicado externamente**. Instituto Brasileiro do Concreto - IBRACON, São Paulo - SP, ed. 1, p. 1-144, 2013.

EID, R.; PAULTRE, P. **Compressive behavior of FRP-confined reinforced concrete columns**. Engineering Structures, Hoboken, New Jersey, v. 132, p. 518-530, 30 Nov. 2016.

FERROTTO, M. F.; *et al.* **Experimental investigation on the compressive behavior of short-term preloaded carbon fiber reinforced polymer-confined concrete columns**. Wiley Fib, International Federation for Structural Concrete, Londres, p. 988-1001, 23 Nov. 2017.

LAM, L.; TENG, J.G. **Design-oriented stress-strain model for FRP-confined concrete**. Construction & Building Materials, Países Baixos, ed. 17, p. 471-489, 2003.

MEHTA, P.K.; MONTEIRO, P.J.M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. São Paulo: Pini, 1994.

MEIRA, M. **Estudo experimental de ligações pilares-vigas de concreto de diferentes resistências**. 2009. Tese (Doutorado) – Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 5739. [s.l.: s.n.].

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 8522-1. [s.l.: s.n.].

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 12655. [s.l.: s.n.].

NORMA BRASILEIRA ABNT NBR 16889. [s.l.: s.n.].

PRADO, F. S. **Análise numérica de pilares de concreto de alta resistência cruzando vigas e lajes com concreto de resistência mais baixa**. 2023. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2022.