

Estudo experimental de pilares curtos de concreto armado reforçados com PRFC

Experimental study of short reinforced concrete columns strengthened with CFRP

Experimental estudio de las estructuras reforzadas de concreto reforzado con CFRP

Étude expérimentale de piliers courts de béton armé renforcés avec PRFC

Ricardo José Carvalho

Silva

ricardo.carvalho222@gmail.com

Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

Mara Bruna Silveira

Muniz

mbrunamuniz@gmail.com
Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA.

Resumo

Segundo a NBR 6118 (ABNT, 2014), uma estrutura, ou parte dela, atinge um estado limite quando se torna inutilizável ou quando deixa de atender os requisitos para a qual foi projetada. As exigências fundamentais para que uma edificação seja considerada adequada para o seu uso engloba segurança, funcionalidade e durabilidade. Justamente nesse viés encontra-se o objetivo do presente trabalho: reforçar pilares de concreto armado através de polímero de fibra de carbono a fim de comparar sua eficiência em relação à peça que não foi reforçada. Foram produzidos seis pilares com dimensões de 50 cm de altura por 10 cm de largura, os quais foram separados em dois grupos: o primeiro contendo três pilares com excentricidade igual a zero, dos quais dois receberam reforço e um pilar permaneceu de referência, ou seja, não recebeu reforço; o segundo grupo também composto de três pilares, porém com excentricidade igual a 2 cm, dos quais dois foram reforçados com polímero de fibra de carbono e um pilar permaneceu de referência. Conclui-se que o reforço se mostrou eficiente em ambas as situações, tanto na aplicação de carga concêntrica quanto na aplicação de carga excêntrica, sendo o uso das fibras a 90º do eixo vertical mais apropriado para cargas concêntricas e o uso de fibras a 45º do eixo vertical mais apropriado para cargas excêntricas.

Palavras-chave: Pilares de Concreto Armado. Reforço Estrutural. Fibra de Carbono.

Abstract

According to NBR 6118 (ABNT, 2014) a structure or part of it reaches a limit state when it turns to unusable or when it no longer meets the requirements for which it was designed. The fundamental requirements for a building to be considered adequate for its use include safety, functionality, and durability. The objective of the present work is to strengthen reinforced concrete columns through a carbon fiber polymer in order to compare its efficiency in relation to the member that was not reinforced. Six columns were produced with dimensions of 50cm of height by 10cm of width, where they were separated into two groups, the first one containing three columns with eccentricity equal to zero, of which two received reinforcement and one is a reference columns, that is, it did not receive reinforcement; the second group is also composed of three columns, but with an eccentricity equal to 2 cm, of which two were reinforced with carbon fiber polymer and one is a reference column. It was concluded that the reinforcement was efficient in both situations. In the application of concentric load and in the application of eccentric load. The use of fibers at 90º from the vertical axis is more appropriate for concentric loads and the use of fibers at 45º from the vertical axis for eccentric loads.

Keywords: Reinforced Concrete Columns. Structural Strengthening. Carbon Fiber.

Resumen

Según la NBR 6118 (ABNT, 2014), una estructura, o parte de ella, llega a un punto limite cuando se pone inútil o cuando deja de atender a las exigencias para la cual fue proyectada. Las exigencias

fundamentales para que una edificación sea considerada adecuada para su utilización envuelven seguridad, funcionalidad y durabilidad. Justamente en este sesgo se encuentra el objetivo de este trabajo, fortalecer pilares de hormigón armado por medio de polímero de fibra de carbono con la finalidad de comparar su eficiencia en relación a la pieza que no fue fortalecida. Fueron producidos seis pilares con dimensiones de 50cm de altura y 10cm de ancho, donde fueron separados en dos grupos: el primero con tres pilares de excentricidad igual a cero, de los cuales dos recibieron refuerzo y un pilar de referencia, es decir, no recibió refuerzo; el segundo grupo también es compuesto de tres pilares, pero con excentricidad igual a 2cm, donde dos fueron reforzados con polímero de fibra de carbono y un pilar de referencia. Se concluye que el refuerzo se mostró eficiente en ambas las situaciones, tanto en la aplicación de carga excéntrica. Por lo tanto el uso de las fibras a 90o del eje vertical es más apropiado para cargas concéntricas y el uso de fibras a 45o del eje vertical para cargas excéntricas.

Palabras-clave: Pilares de Hormigón Armado. Refuerzo Estructural. Fibra de Carbono.

Résumé

Selon NBR 6118 (ABNT, 2014), une structure, ou partie d'elle, atteint un état limite quand il se rend inutilisable ou quand il cesse de remplir les conditions pour lesquelles elle a été projetée. Les exigences fondamentales pour que une construction soit considérée ajustée à son usage englobent sécurité, fonctionnalité et durabilité. C'est dans ce point de vue où il se trouve l'objectif du présent travail, renforcer des piliers de béton armé en utilisant le polymère de fibre de carbone afin de comparer son efficace par rapport à la pièce qui n'a pas été renforcée. Six piliers ont été produits ayant 50 cm de hauteur par 10 cm de largeur. Ils ont été séparés dans deux groupes: le premier en contenant trois piliers avec excentricité égale à zéro, desquels deux ont reçu renforcement et un pilier de référence, c'est-à-dire, qu'il n'a pas reçu renforcement; le second groupe aussi se compose de trois piliers, mais ils ont d'excentricité égale à 2 cm. Seulement deux ont été renforcés avec polymère de fibre de carbone et un pilier a resté de référence. Il a été possible de conclure que le renforcement s'est montré efficace dans les deux les situations: soit dans l'application de chargement concentrique, soit dans l'application de chargement excentrique. L'usage des fibres à 90 de l'essieu vertical est plus approprié pour chargements concentriques et l'usage de fibres à 45 de l'essieu vertical est plus approprié pour chargements excentriques.

Mots-clés: Piliers de béton armé. Structurel renforcement. Fibre de carbone.

1 Introdução

A necessidade de reabilitar estruturas de concreto armado pode ser resultante da falta de manutenção no decorrer de sua vida útil ou da adequação de novos usos da estrutura, já que a opção de demolir e reconstruir torna-se inviável. Seja qual for o caso, vem se desenvolvendo cada vez mais estudos na área de recuperação de estruturas em concreto armado. Apesar desse ramo da Engenharia Estrutural estar em desenvolvimento, ainda não há uma metodologia específica de análise do comportamento estrutural da peça reabilitada.

Segundo Reis (1998), o aprofundamento em pesquisas científicas com relação à sobre a reabilitação de estruturas de concreto armado é de extrema relevância, principalmente para definir melhor as regras do dimensionamento, o comportamento das estruturas reforçadas ao longo do tempo e as formas de se analisar a aderência entre os materiais envolvidos, bem como suas propriedades. Tais estudos possibilitariam determinar quais os materiais, as técnicas, os procedimentos e as normas mais adequadas a serem adotadas durante a realização de uma recuperação estrutural.

Ainda que estejam disponíveis muitas técnicas de reforço em pilares de concreto armado, destacando-se o uso do próprio concreto armado, com a utilização de concreto autoadensável e de barras de aço complementares, a utilização de chapas metálicas inseridas externamente na peça é o método mais utilizado no país, pois sua aplicação é considerada prática. Uma técnica que vem crescendo é o uso de sistemas compósitos, como fibra de aço e de carbono, tanto que estudos promissores vêm sendo desenvolvidos acerca desse material como reforço em estruturas.

Este foi exatamente o tipo de reforço escolhido para a pesquisa, fibra de carbono (PRFC), buscando mostrar a eficiência dessa técnica de reabilitação, já que a mesma não apresenta uma demanda significativa na região Nordeste do país.

2 Reforço em pilares de concreto armado

Segundo Sudano (2005), o princípio do reforço em pilares de concreto armado consiste em restringir a expansão lateral sofrida pelo elemento estrutural, o que possibilita um aumento da força aplicada sobre o mesmo.

O reforço geralmente é tratado como uma intervenção que tem a função de aumentar a capacidade resistente dos elementos estruturais inicialmente previstos no projeto de uma estrutura como consequência da modificação de sua utilização (Takeuti, 1999).

2.1 Pilares Reforçado com Concreto Armado

O reforço de um elemento por encamisamento consiste no aumento da seção transversal pela adição de uma armadura. Esta técnica é mais adequada quando há necessidade de aumentar a resistência das zonas comprimidas, de incrementar as dimensões da seção ou de adicionar armaduras, as quais posicionadas no interior da seção (Ferreira, Gomes e Carvalho, 2014).

Pilares reforçados por essa técnica de reforço correspondem a elementos estruturais compostos, pois possuem seção transversal formada pela ligação de dois materiais cimentícios moldados em idades distintas. Portanto, para dimensionar esse tipo de elemento estrutural, além de seguir todas as recomendações válidas para peças monolíticas (NBR 6118:2014), também é preciso verificar a transferência de tensões tangenciais através da junta formada pelo concreto novo e o concreto antigo. Isto porque se a tensão de cisalhamento resistente for maior que a tensão de cisalhamento atuante ao longo da junta, poderá ocorrer o deslizamento entre os concretos do substrato e do reforço e, conseqüentemente, uma ruptura prematura do pilar por desprendimento dos materiais (Omar, Adorno e Reis, 2006).

2.2 Pilares Reforçados com Materiais Metálicos

Um dos métodos de reforço mais utilizados no Brasil consiste da colagem ou fixação de chapas ou perfis metálicos ao elemento de concreto armado. Trata-se de uma técnica simples pelo fato de sua execução ser rápida, recomendada principalmente para situações que requerem emergência ou não permitam grandes alterações na geometria das peças. No caso de pilares, o aumento da resistência e ductilidade se dá pelo confinamento produzido pelas chapas e/ou perfis.

Rigazzo (2003) afirma que, apesar da técnica ser simples em termos de concepção, é necessário um rigoroso controle na execução do reforço. Os cuidados incluem a preparação da superfície do concreto e da superfície do elemento metálico que entra em contato com a resina, além de pintura anticorrosiva das demais superfícies metálicas. Para combater o descolamento das chapas em altas temperaturas, como nos casos de incêndio, é comum o uso de parafusos, além da resina de colagem.

Outro fator importante são os detalhes dos nós da estrutura em relação aos esforços transmitidos pelas extremidades dos elementos metálicos para as vigas e lajes, verificando-se eventuais efeitos de puncionamento e força cortante.

2.3 Pilares Reforçados com Materiais Compósitos

Em pilares, os sistemas compósitos são usados, geralmente, para promover o confinamento de elementos de seção circular, entretanto vêm sendo efetuados estudos de reforço por meio da aplicação de tiras de sistemas compósitos com fibra de carbono no reforço à flexão (Ferreira, 2014).

De acordo com a norma norte Americana ACI440 (2008), que trata da instalação do sistema de polímero de fibra de carbono como reforço de estruturas de concreto, esse método de reforço tem a função de reabilitar e restaurar estruturas de concreto armado deterioradas, bem como auxiliar no aumento de sua resistência, conseqüentemente levando a estrutura a voltar ao estado inicial para qual foi projetada, como também reforçar por consequência da modificação de sua utilização, ou para reparar erros de concepção e/ou execução de projeto. As informações fornecidas pela norma podem ser usadas para selecionar um sistema de FRP (*Fiber Reinforced Polymer*) para aumentar a resistência e a rigidez de vigas de concreto armado, bem como aumentar a ductilidade de pilares.

O emprego de FRP junto a pilares de concreto armado para promover o aumento de sua capacidade resistente pode ocorrer basicamente de duas formas: através da utilização de mantas flexíveis ou de laminados rígidos, confeccionados no formato da seção transversal (Araújo, 2016).

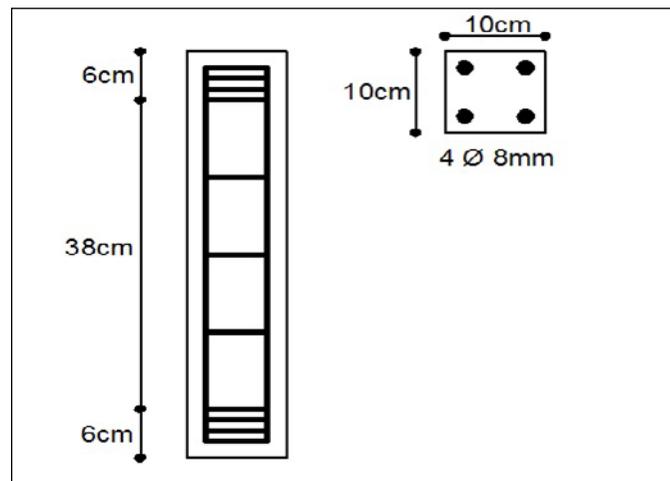
Quando se opta por utilizar mantas flexíveis de FRP, elas podem ser empregadas nas direções transversal e longitudinal. No caso de pilares curtos, o tecido de fibras, que geralmente apresenta resistência unidirecional, pode ser posicionado na

direção transversal ao elemento, gerando um efeito de confinamento no pilar. Já para o caso de existir flexão composta, reta ou oblíqua, pode-se compor uma camisa de fibras com camadas posicionadas transversal e longitudinalmente, com o objetivo de se combater os efeitos do carregamento excêntrico, que geram esforços de flexão no pilar (Araújo, 2016).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Para realização do presente trabalho foram produzidos seis pilares com seção de 50 cm de comprimento por 10 cm de largura. Todos foram confeccionados com o mesmo concreto, bem como as mesmas armaduras, longitudinais (8 mm de diâmetro) e transversais (5 mm de diâmetro). O espaçamento entre os estribos centrais foi de 9,5 cm, sendo colocado nas extremidades três estribos próximos para aumentar a resistência na região de descontinuidade, onde a peça recebe a carga. Foi adotado 2 cm de recobrimento. O detalhamento das armaduras é apresentado na fig.1.

Figura 1 - Detalhamento das Armaduras dos pilares Ensaaiados



Fonte: Autor, 2017.

O estudo experimental se deu através de ensaios físicos de compressão axial em seis pilares de concreto armado, separados em dois grupos distintos, cada qual com três pilares. Um grupo continha três pilares com excentricidade igual a zero e o outro, os demais com excentricidade igual a 2 cm. Além disso, dois pilares de cada grupo foram confinados com fibra de carbono. Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú. O resultado dos ensaios para obtenção da resistência à compressão do concreto utilizado foi disponibilizado pelo técnico responsável pelo controle tecnológico do concreto da construtora que confeccionou os pilares.

Apesar dos pilares analisados terem dimensões reduzidas em relação aos pilares reais, é necessário enfatizar que não foi objetivo deste trabalho determinar qualquer correlação entre o modelo reduzido e um protótipo, através da análise dimensional e de leis de similaridade, em uma análise quantitativa. O objetivo foi sempre comparar o comportamento estrutural dos pilares reforçados (P2, P3, P5 e P6) com os pilares de referência (P1 e P4), ou seja, que não receberam reforço, em uma análise qualitativa.

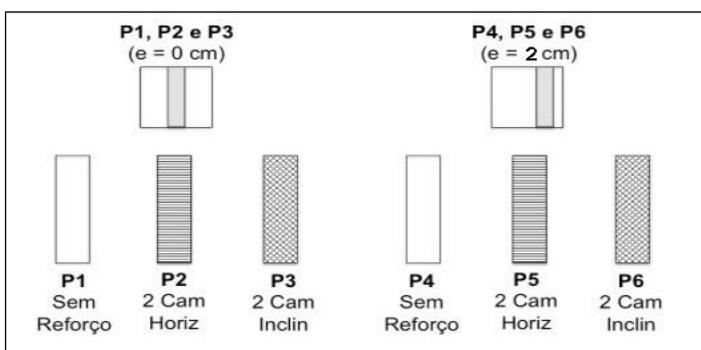
Reforço dos pilares com PRFC

Antes da aplicação do reforço, foi seguida a recomendação do fabricante da fibra, sendo ela: preparar o substrato de tal forma que haja uma boa aderência entre a peça e o sistema de reforço. Segundo Sudano (2005), pilares com seções transversais quadradas apresentam distribuição de tensões internas de forma parabólica em cada uma de suas faces, com inclinação inicial de aproximadamente 45°, causando concentração de tensões nos cantos, o que pode provocar ruptura prematura da camisa de PRFC. Assim, para aumentar a eficiência do reforço é necessário arredondar os cantos dos pilares antes de se aplicar o sistema compósito.

Seguindo essas diretrizes, todos os cantos dos pilares que iam receber reforço foram arredondados manualmente com uma lixa grossa.

Como dito anteriormente, os seis pilares produzidos foram separados em dois grupos. O primeiro, contendo três pilares com excentricidade igual a zero, dos quais dois receberam reforço e um pilar de referência, ou seja, que não recebeu reforço. O segundo grupo, também composto de três pilares, porém com excentricidade igual a 2 cm, sendo dois reforçados com polímero de fibra de carbono e um pilar de referência (figura 2). Os quatro pilares que receberam reforço foram confinados com uma diferença em relação ao sentido das fibras. Duas peças foram reforçadas de forma que a fibra envolvesse todo o pilar com as fibras orientadas à 90° em relação ao eixo vertical do pilar, em duas camadas, deixando 2 cm livres nas extremidades, como ilustrado na fig.3 (a). Nos demais pilares, o reforço foi aplicado de tal forma que as fibras ficassem à 45° em relação ao eixo vertical da peça (Fig.3 (b)), também confinado em duas camadas, sendo a primeira camada ortogonal em relação a segunda.

Figura 2 – Esquema de reforço dos pilares.



Fonte: Autor, 2017.

Figura 3 - Aplicação da fibra de carbono: (a) fibras no sentido de 90°; (b) fibras no sentido de 45°.



Fonte: Autor, 2017.

Após a preparação dos pilares e a definição das disposições das mantas de fibra de carbono, iniciou-se a primeira etapa de aplicação do sistema de reforço estrutural, a imprimação do substrato, que tem por objetivo saturar os poros do concreto e criar uma ponte de aderência eficiente, sobre a qual é instalado o sistema compósito. Para isso, foi utilizado o componente de imprimação *Viapol Carbon Primer*, uma resina epóxi bicomponente. Após a aplicação, esperou-se o endurecimento por cerca de 4 horas.

Após a cura do primer, vem a aplicação da fibra, que foi cortada de tal forma que fosse possível confinar o pilar, deixando apenas 2 cm livres nas extremidades. No caso das fibras que ficaram inclinadas, optou-se por cortar faixas de 70 cm por 14 cm para que desse a volta por toda a peça. Foram utilizadas quatro faixas com as dimensões já citadas em cada pilar, pois foi confinado com duas camadas. A aplicação das fibras foi mostrada na fig.3.

A fixação das fibras se dá pela sua impregnação com uma resina saturante, um composto formado por dois componentes e que após endurecido, forma a matriz polimérica do sistema compósito PRFC. O saturante utilizado para impregnar as fibras foi o *Viapol Carbon Saturante*.

Essa etapa de aplicação do saturante só deve ser realizada após o primer estar totalmente seco no substrato, isto é, depois de 4 horas, como recomenda o fabricante. É Após ser aplicada uma camada de saturante na face do pilar, pode-se proceder para a fixação da fibra com o auxílio de um rolo liso de plástico comprimindo as faixas sobre a camada de saturante, sendo a sua aplicação orientada sempre no sentido das fibras. Após a fixação das faixas de fibras nos pilares, aguardou-se cerca de 30 minutos, e então foi aplicada uma segunda camada de resina saturante com a finalidade de completar a impregnação das fibras, formando a matriz epoxídica que protege e garante a uniformidade da transmissão de tensões para as fibras de carbono. A aplicação do reforço foi mostrada na fig.3, e os pilares reforçados e sem reforço são apresentados na fig.4.

Figura 4 - Pilares Reforçados/Sem reforço

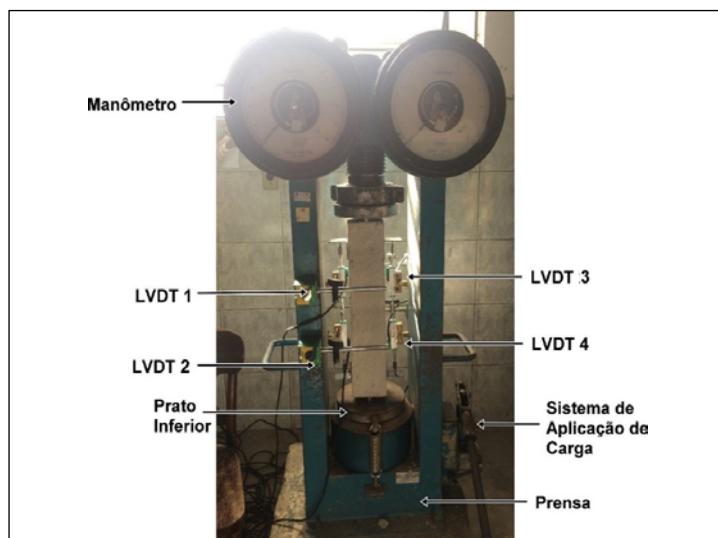


Fonte: Autor, 2017.

3.1 Ensaio de Compressão Axial realizado nos Pilares

Após trinta dias do término da aplicação do reforço, foram realizados os ensaios dos pilares. Para que fosse iniciado o ensaio, primeiramente, a peça deveria estar posicionada de forma centralizada na prensa, para que, posteriormente, fosse aplicado o intervalo de cargas até o pilar chegar à ruptura. Porém, antes dessa etapa do ensaio, foram instalados 4 LVDT's (Fig.5), dois em cada lado do pilar, sendo um na parte superior e o outro na parte inferior. Os LVDT's (*Linear Variable Differential Transformer*) são transdutores que têm a função de medir o deslocamento linear da peça de concreto.

Figura 5 - Pilar posicionado na Prensa para o Ensaio à Compressão.



Fonte: Autor, 2017.

4 Resultados e Discussões

A tabela 1 apresenta os dados e resultados dos pilares ensaiados. Essa tabela está dividida em dois grupos: o grupo dos pilares com cargas concêntricas (excentricidade zero) e o grupo dos pilares com cargas excêntricas (excentricidade igual a dois centímetros).

Tabela 1 – Dados e resultados dos ensaios dos pilares.

Pilar	Seção (cm x cm)	Armadura Longitudinal	f_c (MPa)	Excentricidade (cm)	V_u (kN)	$V_u/V_{u,ref}$	Orientação das Fibras
P1	10 x 10	4 ϕ 8 mm	24,95	0,0	50,0 ⁽¹⁾	1,00	Sem Fibras
P2				0,0	89,0	1,78	Fibras à 90° da vertical
P3				0,0	67,0	1,34	Fibras à 45° da vertical
P4	10 x 10	4 ϕ 8 mm	24,95	2,0	47,0 ⁽²⁾	1,00	Sem Fibras
P5				2,0	63,0	1,34	Fibras à 90° da vertical
P6				2,0	69,0	1,47	Fibras à 45° da vertical

Carga de referência da série dos concêntricos ($V_{u,ref} = 50,0$ kN);

Carga de referência da série dos excêntricos ($V_{u,ref} = 47,0$ kN).

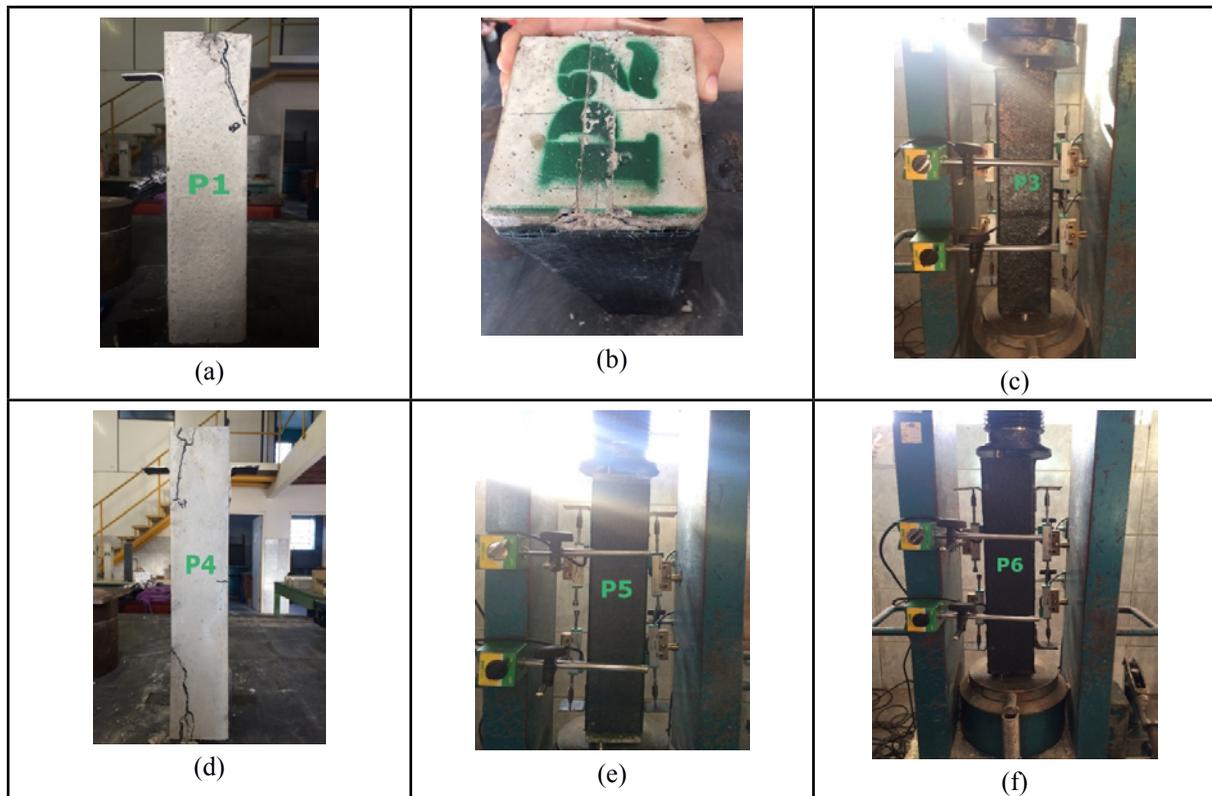
Fonte: Autor, 2017.

O grupo de pilares P1, P2 e P3 receberam cargas concêntricas, sendo que o P1 foi o de referência (não reforçado), o P2 foi reforçado em duas camadas de fibras horizontais e o P3 foi reforçado em duas camadas de fibras diagonais-ortogonais. O pilar P1 rompeu com uma carga de 50 kN e por compressão. A figura 6(a) mostra o aparecimento das fissuras na peça. O pilar P2 recebeu reforço em duas camadas de fibras horizontais e rompeu com uma carga de 89 kN (superior ao pilar de referência em 78%). O reforço mostrou-se eficiente. A disposição horizontal das fibras serviu para confinar a peça, aumentando a resistência à compressão do pilar (Fig.6(b)). Já o pilar P3 foi reforçado em duas camadas de fibras diagonais-ortogonais e rompeu com uma carga de 67 kN (inferior em relação ao P2 em 33%). A disposição diagonais-ortogonais das fibras na peça não confinou tão bem como no pilar P2, com disposição de fibras horizontais, porém pode-se considerar que o reforço também foi eficiente, pois o pilar P3 (Fig.6(c)) rompeu com carga 34% superior em relação o pilar de referência.

O grupo de pilares P4, P5 e P6 receberam cargas excêntricas, sendo que o P4 foi o de referência (não reforçado), o P5 foi reforçado em duas camadas de fibras horizontais e o P6 foi reforçado em duas camadas de fibras diagonais-ortogonais. O pilar P4 chegou com uma carga de 47 kN, inferior em relação a todos os demais pilares analisados, comprovando que o aumento da excentricidade reduz a resistência do pilar (Fig.6(d)). O pilar P5, que recebeu o mesmo método de confinamento do P2, rompeu com uma carga de 63 kN. Observou-se que a peça rompeu com carga inferior, em comparação ao pilar P2, devido a excentricidade na peça. O reforço, entretanto, também foi eficiente, visto que o pilar (Fig.6(e)) rompeu com uma carga superior ao pilar de referência em 34%. Já o pilar P6 rompeu com uma carga de 69 kN, ou seja, superior ao P5 em 10% e ao P4 em 47%.

Analisando o resultado do pilar P6, verificou-se que os LVDT's (posicionados do lado oposto da aplicação da carga excêntrica) indicaram haver tensões de tração naquele lado. Isto pode ser facilmente justificado, porque a excentricidade se localizava fora do terço médio da peça. Além disso, disposição das fibras mostrou-se eficiente também para combater as tensões de tração. Isto justifica a carga de ruptura do pilar P6 ter sido superior a do P5 (Fig.6(f)). No caso do pilar P6, a orientação das fibras em diagonais-ortogonais (fibras à 45° em relação ao eixo vertical do pilar), foi eficiente para confinar o pilar, aumentando a resistência à compressão e também reforçando a zona tracionada.

Figura 6 - Pilares após Ruptura.



Fonte: Autor, 2017.

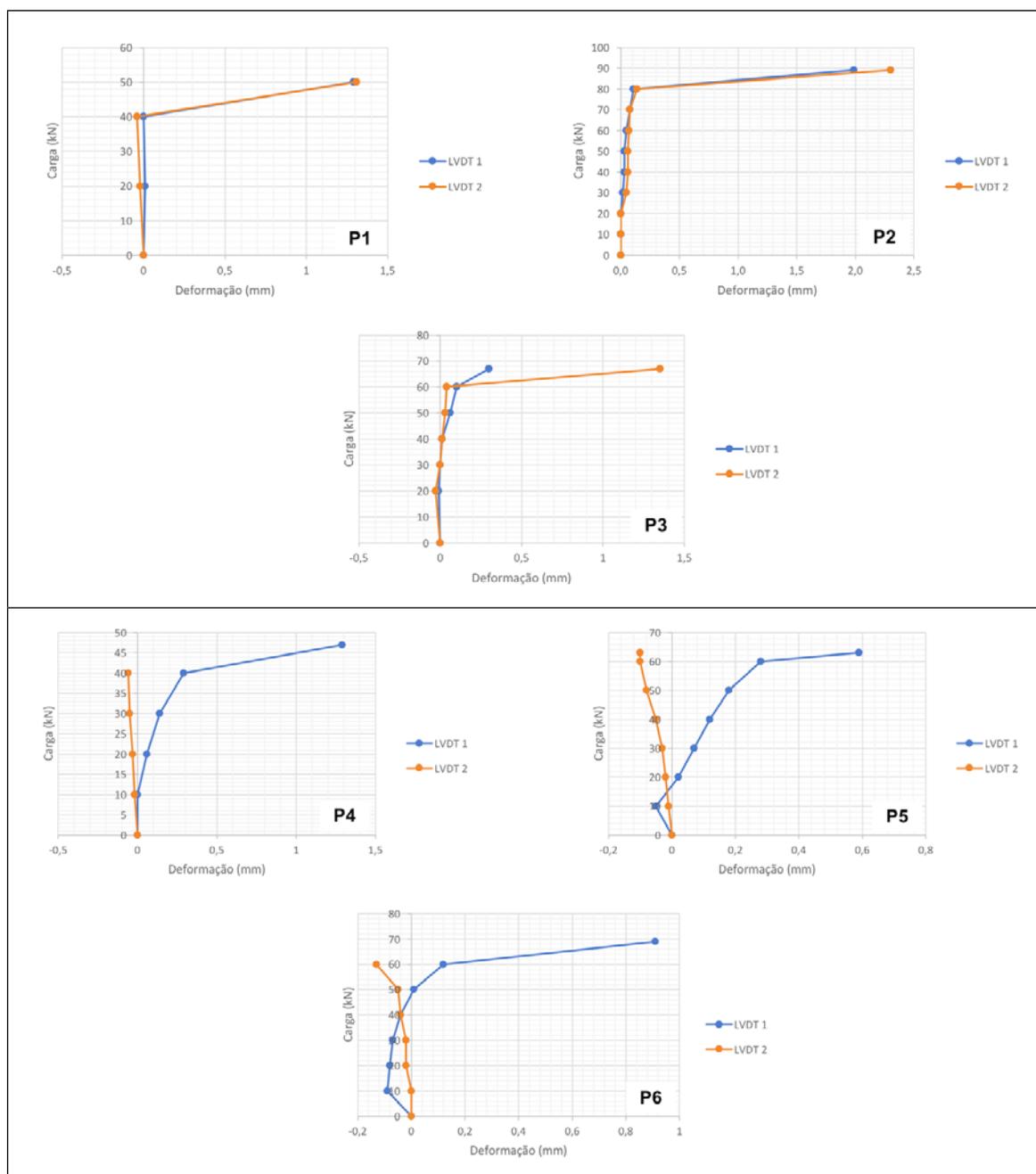
A figura 7 apresenta os gráficos Carga x Deformação dos pilares ensaiados. As deformações foram informadas pelos pares de LVDT's na face direita e na face esquerda dos pilares. O par de LVDT's do lado do carregamento excêntrico foi denominado LVDT 1 e o do lado oposto, LVDT 2.

Pode-se observar que, nos pilares que receberam cargas concêntrica (P1, P2 e P3), os gráficos do LVDT 1 e do LVDT 2 apresentam-se praticamente iguais, indicando uma deformação uniforme. Entretanto no pilar P3, para a carga última, essa deformação deixou de ser uniforme. É possível que o esmagamento da peça tenha interferido e alterado o resultado.

Nos pilares que receberam carga excêntrica (P4, P5 e P6), os gráficos do LVDT 1 mostraram o encurtamento do lado comprimido do pilar, enquanto os do LVDT 2 mostraram o alongamento do lado tracionado do pilar. Como a excentricidade estava fora do terço médio da seção, é normal que a linha neutra fique dentro da seção do pilar mesmo, com um lado comprimido e outro tracionado.

Vale destacar que alguns pontos iniciais apresentaram, erroneamente, haver tração e depois passaram, corretamente, a haver compressão. Isto deve ter ocorrido devido à falha no ponto de contato entre a superfície e os LVDT's. Com o aumento das deformações, esse erro foi atenuado naturalmente.

Figura 7 – Gráfico Carga x Deformação



Fonte: Autor, 2017.

5 Conclusões

Os pilares com cargas concêntricas se mostraram mais eficientes quando reforçados com fibras à 90° em relação ao eixo vertical (fibras horizontais). Nesse caso, o P2 apresentou um aumento de resistência de 78% em relação ao P1 (pilar de referência) e de 33% em relação ao P3 (pilar com fibras diagonais-ortogonais).

Os pilares com cargas excêntricas se mostraram mais eficientes quando reforçados com fibras à 45° em relação ao eixo vertical com as duas camadas ortogonais entre si (fibras diagonais-ortogonais). Nesse caso, o P6 apresentou um aumento de resistência de 47% em relação ao P4 (pilar de referência) e de 10% em relação ao P5 (pilar com fibras diagonais-ortogonais).

Em síntese, pode-se concluir que os pilares reforçados através de confinamento por PRFC obtiveram aumento considerável de resistência, tanto para fibras à 90° em relação ao eixo vertical (fibras horizontais) quanto para fibras à 45° em relação ao eixo vertical com as duas camadas ortogonais entre si (fibras diagonais-ortogonais), comprovando a eficiência do PRFC como material estrutural.

Vale ressaltar que as conclusões deste trabalho se limitam apenas aos resultados dos ensaios dos seis pilares aqui apresentados e que mais ensaios são necessários para conclusões mais gerais.

Referências

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.2R-08**: Guide the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures. Farmington Hills: ACI Committee 440, 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: projeto de estruturas de Concreto - Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.
- ARAÚJO, C. V. dos S. **Estudo Teórico e experimental de pilares curtos de concreto armado reforçados com CFRP**. 2016. 102 f. TCC (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2016.
- FERREIRA, B. J.; GOMES, R. B.; CARVALHO, A. L. Análise experimental de pilares de concreto armado, reforçados com concreto auto adensável e conectores. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, Goiânia, v. 8, n. 2, p. 1-15, 2014.
- FERREIRA, B. J. **Análise experimental de pilares de concreto armado, reforçados com concreto auto adensável e conectores**. 2014. 199 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2014.
- OMAR, M. Y.; ADORNO, A. L. C.; REIS, A. P. A. Análise experimental de pilares de concreto armado reforçados com concreto auto-adensável (CAA). In: SIMPÓSIO EPUSP SOBRE ESTRUTURAS DE CONCRETO, 6., 2006, São Paulo. **Anais...** São Paulo: EPUSP, 2006.
- REIS, A. P. A. **Reforço de vigas de concreto armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho**. 1998. 239 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.
- RIGAZO, A. O. **Reforço em pilares de concreto armado por cintamento externo com mantas flexíveis de fibras de carbono**. 2003. 143 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- SUDANO, A. L. **Influência da forma da seção transversal no confinamento de pilares de concreto armado encamisados com PRFC (polímero reforçado com fibra de carbono)**. 2005. 147 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- TAKEUTI, A. R. **Reforço de pilares de concreto armado por meio de encamisamento com concreto de alto desempenho**. 1999. 205 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1999.
- VIAPOL. **Viapol Carbon CFW 300**: ficha técnica de produto. Disponível em: <http://www.viapol.com.br/media/122330/ft-viapol-carbon-cfw-300-02_07_15.pdf>. Acesso em: 10 Ago. 2017.

Sobre os autores

Ricardo José Carvalho Silva

Professor da Engenharia Civil da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA, doutor em Estruturas pela UnB / Imperial College – London e líder do Grupo de Pesquisa em Estruturas e Materiais – GEM.

Mara Bruna Silveira Muniz

Engenheira Civil, pesquisadora do Grupo de Pesquisa em Estruturas e Materiais – GEM.

Recebido em: 28/11/2017

Avaliado em: 10/05/2018

Aceito em: 10/05/2018