Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

ANÁLISE TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE PILARES DE CONCRETO ARMADO REFORÇADOS COM CFRP ATRAVÉS DA RESISTÊNCIA DOS MATERIAIS

SYLLAS FERREIRA DE SOUSA
Estudante, Engenharia Civil Bacharelado
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará, Brasil
syllas.f.sousa@gmail.com

CARLOS VALBSON DOS SANTOS ARAÚJO
Estudante, Estruturas e Construção Civil Mestrado
Universidade de Brasília
Brasília - DF, Brasil
carlosvalbson@hotmail.com

RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA
Professor Doutor, Engenharia Civil Bacharelado, Orientador
Universidade Estadual Vale do Acaraú
Ceará, Brasil
ricardo.carvalho222@gmail.com

RESUMO

Uma das causas para se precisar reforçar peças de concreto armado, como pilares, por exemplo, é quando a peça é submetida a uma carga maior do que aquela para a qual foi projetada, uma vez que o reforço pode aumentar a sua capacidade resistente. Assim, este trabalho tem como objetivo fazer uma avaliação do comportamento de pilares reforçados com fibras de carbono (CFRP). Para isso, foram ensaiados à compressão axial centrada cinco pilares, sendo um de referência e os outros quatro reforçados com CFRP, variando-se a área de aplicação. Os pilares reforçados tinham faixas de fibras ao seu redor, sendo um deles com uma faixa no meio, outro com duas faixas, outro com três faixas e outro quase todo confinado. Nos ensaios fez-se o uso de transformadores lineares diferenciais variáveis (LVDT), que mediram a deformação longitudinal dos pilares. Os resultados dos ensaios foram analisados de duas maneiras: na primeira, fez-se uma análise através da Resistência dos Materiais e, na segunda, utilizou-se o Modelo de Bielas e Tirantes. Os dados de deformações coletados serviram para a construção de gráficos carga-deformação, podendo-se assim comparar o aumento de resistência entre os pilares. Através do Modelo de Bielas e Tirantes, foi possível a construção de um modelo simplificado para a análise da propagação das tensões nos pilares. Através desta pesquisa, e dos métodos citados, visou-se compreender a ação do reforço, sua eficiência e influência na resistência dos pilares ensaiados.
Palavras-chave: Pilar, Fibra, Ensaio, Reforço.

ABSTRACT

One of the causes to reinforce parts of reinforced concrete, such as pillars, for example, it is when the part is subjected to a load greater than that for which it was designed, since the reinforcement can increase its resistant capacity. Thus, this study aims to evaluate the behavior of RC columns strengthened with carbon fiber (CFRP). To this, five columns were submitted to axial compression centered, being one referential and the other four strengthened with CFRP, varying the area of application. The strengthened columns had fiber strips around, one of them with a strip in the middle, the other with two strips, other with three tracks and the other almost all confined. In the tests was made use of linear variable differential transformers (LVDT), to measured the longitudinal deformation of the columns. The tests results were analyzed in two ways: first, was made an analysis by Mechanics of Materials and second, was used the Strut-and-Tie Model. The strain data listed were used for the construction of load-strain graphs, allowing to compare the increase of resistance between the columns. Through Strut-and-Tie Model, it was possible to construct a simplified model for analyzing the propagation of stress in the columns. Through this research, and of the aforementioned methods, sought to understand the strengthning behavior, its efficiency and influence on the resistance of the tested columns.
Keywords: Column, Fiber, Test, Strengthening.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

1. INTRODUÇÃO

Durante a vida útil de estruturas de concreto armado é bastante comum os materiais que a compõem ficarem sujeitos a patologias e agentes que contribuem para sua degradação, são exemplos desses agentes forças além das previstas em projeto, erros de projeto, corrosão das armaduras, variação da umidade, agentes biólogicos, incompatibilidade de materiais, entre outros [1]. O trabalho apresentado envolve pilares de concreto armado. Essas peças são também suscetíveis a patologias, mas reagem diferentemente de outros elementos estruturais, como vigas e lajes, que têm boa dutilidade na ruptura. Ou seja, não há como prever quando um pilar irá à ruína. Este estudo consiste em explicar primeiramente como os pilares de concreto armado são reforçados e quais os tipos de reforço. Traz ainda a metodologia empregada na pesquisa e como foram realizados os ensaios e as análises empregadas para a compreensão dos resultados obtidos. O objetivo deste trabalho foi fazer ensaios em cinco pilares de concreto armado, sendo um de referência e quatro reforçados, analisando-os e comparando-os, e vendo quais os seus ganhos e vantagens. Para o reforço foi utilizado polímero reforçado com fibras de carbono (CFRP), que possui vantagens que serão úteis ao estudo. Os objetivos específicos deste trabalho consistem em um estudo do procedimento de reforço dos pilares e na observação, através de equipamentos próprios, do comportamento, referente às deformações, dos pilares durante os ensaios, além de compreender através do Modelo de Bielas e Tirantes como se comportam as tensões nos pilares. A justificativa para o referido trabalho está no uso do tipo de reforço, que vem sendo utilizado nos últimos anos e que consiste em uma fácil aplicação, boa resistência aos esforços suportados pelas peças e o uso de um material que vem ganhando espaço entre os compósitos usados na construção: a fibra de carbono.

2. REFORÇO PARA PILARES DE CONCRETO ARMADO

Os pilares são elementos de grande importância na estrutura, pois recebem cargas de vigas ou das lajes e as conduzem para as fundações [2]. A norma brasileira [3] define pilares como elementos lineares de eixo reto, ou seja, seu comprimento na vertical é maior ou igual a três vezes a maior dimensão de sua secção transversal, e sobre quais as forças normais de compressão são preponderantes. O reforço para pilares de concreto armado possui uma elevada importância, pois erros técnicos, não cumprimento das normas, ou qualquer desastre que venha comprometer a estrutura, pode levar toda a estrutura ao declínio. As técnicas de reforço também podem ser necessárias para corrigir falhas nos elementos estruturais, ocorridas por deficiências na dosagem do concreto, cura inadequada, ou ainda erros cometidos, em projeto, na consideração das ações atuantes [4]. Por isso nos últimos anos tem se elevado a importância em estudos para o avanço em pesquisas com reforços para estruturas de concreto, e após o colapso de grandes estruturas em todo mundo, foi percebida a necessidade de aumentar os estudos para a prevenção desse tipo de problema.

Elementos estruturais como pilares de concreto armado, diferentemente de vigas e lajes, não apresentam boa dutilidade antes da ruptura. A precaução e as medidas preventivas tomadas para que a estrutura não venha à ruína são procedimentos como o encamisamento do pilar, onde a peça é confinada por uma estrutura adicional que transmitirá seus esforços ao pilar, essa estrutura, que junta com o pilar é chamada estrutura mista, e esse reforço adicional, que é calculado pelo responsável técnico do projeto, tem por finalidade aumentar a resistência do pilar, ou seja, aumentando assim a sua capacidade para receber cargas. A estrutura adicional utilizada no encamisamento pode ser com concreto armado, estruturas metálicas ou polímeros reforçados com fibras. O reforço com concreto armado consiste na aplicação de uma armadura adicional no entorno do pilar, que será concretada logo em seguida. O reforço metálico é descrito como a adição de elementos como cantoneiras ou braçadeiras de aço, soldadas ou simplesmente coladas com adesivo estrutural em torno do pilar. O reforço com polímeros reforçados com fibras, que são materiais compósitos, é utilizado para suprir a falta de esforço contra flexão ou para confinamento de pilares, que irão receber cargas adicionais ou que foram danificados. O mecanismo de confinamento de concreto pode ser considerado o que traz mais beneficíos a pilares reforçados, pois aumenta-se consideravelmente a capacidade resistente e a dutilidade do pilar preexistente, aumentando muito pouco as secções transversais desses elementos.

2.1 Reforço CFRP para pilares de concreto armado

Um tipo de reforço que vem emergindo no cenário da construção civil é o reforço por polímero reforçado com fibras (FRP). Existem diversos materiais que podem constituir um FRP, como é o caso da fibra de vidro e da fibra de carbono. Entre as vantagens dos polímeros reforçados estão a fácil aplicação do reforço e a facilidade para manusear o material. Entre as características mecânicas das fibras estão à elevada resistência à tração, possuindo um módulo de elasticidade longitudinal superior ao do aço e a baixa densidade. Mas devido aos baixos valores das deformações na ruptura e à ausencia de um patamar de escoamento, e que os compósitos são muito sensíveis a concentração de tensões em cantos vivos são destacadas como desvantagem desse material [5].
A fibra de carbono é obtida do poliacrilonitril (PAN), que é um material oriundo da indústria de refinaria, ou de derivados do petróleo e do carvão (PITCH). A oxidação do poliacrilonitril (PAN) em torno de 1500ºC resulta em um

material com os átomos de carbono bem alinhados, proporcionando à fibra uma elevada resistência à tração, como diz [6]. A maneira de aplicação do reforço começa pelo seguinte: primeiro o local no concreto, onde se aplicará a fibra, é lixado e limpo para que fique livre de material inadequado, logo após é colocado o primer, que é uma substância com a finalidade de saturar os poros do concreto, resultando em uma superfície propícia para aderir o polímero e as fibras ao concreto. Na aplicação das fibras, antes de colocar-se a manta, faz-se o uso de um saturante, uma resina polimérica que irá "colar" as fibras no concreto. Em seguida a fibra é aplicada sobre o devido local em cima do polímero e é então colocada uma segunda camada de saturante. As fibra de carbono são responsáveis pela resistência mecânica do sistema, cabendo a matriz polimérica a transferência de tensões do substrato de concreto ao sistema compósito. A Tabela 1 [7] mostra as especificações da fibra de carbono utilizada no ensaio [7].

Tabela 1- Especificações da fibra de carbono

Característica	Especificação	Unidade
Gramatura	300	g/m²
Espessura da Manta	0,166	mm
Resistência Máxima de Tração	4900	MPa
Módulo de Elasticidade	230	GPa
Alongamento na Ruptura	2,1	%

3. METODOLOGIA, ENSAIO E MATERIAIS

3.1 Ensaios de compressão dos pilares

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú, com uma prensa hidráulica adaptada para o ensaio à compressão de pilares, com uma chapa de aço espessa, que serviu para distribuir a carga na face superior do pilar. Nos ensaios fez-se uso de transdutores de deslocamento linear (LVDT), que consiste em uma haste metálica presa a um eletroímã e ligada a um display digital. As hastes metálicas foram postas em pontos da chapa de aço e da prensa, nas hastes há um medidor de deslocamento diferencial, que através de um campo eletromagnético que fica dentro do medidor, calcula a variação de campo que é provocada pelo deslocamento diferencial das hastes, e esse valor é convertido em milímetros e mostrado no display digital. Através desses deslocamentos foi possível obter dados de deformações pontuais durante o ensaio. Ao todo foram utilizados 8 aparelhos LVDT's que forneceram dados sobre a deformação pontual dos pilares, eles foram posicionados em pontos na chapa e na prensa, equidistantes do centro das secções transversais do pilar. O ensaio consistiu em três etapas, na primeira foi realizado o reforço dos cinco pilares com o CFRP, na segunda etapa foram realizados os ensaios de compressão dos pilares e em seguida, na terceira etapa, foram feito os ensaios com os corpos de prova para obtenção das resistências de compressão e tração do concreto utilizado nos ensaios. Durante os ensaios, foram coletados os dados dos medidores diferenciais e foi possível observar o comportamento dos pilares e do reforço durante a aplicação de carga. A Figura 1 mostra o ensaio de compressão dos pilares.



Figura 1: Prensa adaptada ao ensaio de compressão com os LVDT's

O processo de reforço dos cinco pilares foi feito da seguinte maneira: em cada pilar, no local do reforço, foi feito o lixamento e o arredondamento dos cantos vivos para que não haja concentrações de tensão nesses lugares. A preparação do primer, que consiste na mistura de suas duas resinas, componente A e componente B, respectivamente, na proporção 2:1, por um período de 5 minutos manualmente para a homogeneização dos componentes até adquirir uma cor amarelada. Logo em seguida foi feita a imprimação nos pilares com um rolo de pelos curtos, e para que o primer endurecesse foi necessário em torno de 4 horas de espera. Durante a espera para o endurecimento do primer realizou-se o processo de corte da manta de fibra de carbono, detalhando as medidas dos locais de aplicação, pois as mesmas estariam confinando os pilares em seus respectivos lugares. Para a aplicação da fibra é necessário o uso de um saturante, que consiste em uma resina polimérica. Para fazer o saturante é preciso misturar os dois componentes do saturante, A e B, também na proporção 2:1. A mistura dos componentes do saturante foi feita manualmente por um período de 5 minutos até que a composição adquirisse uma cor azulada e homogênea. O saturante foi colocado nas faces de concreto, com um rolo de pelos curtos e após sua aplicação as fibras foram postas nos locais onde estariam reforçando o pilar. Após ser posta no local, é necessário a aplicação de mais uma camada de saturante, para que as fibras de carbono estejam em contato direto com a resina polimérica. A Figura 2 mostra as etapas do processo de reforço dos pilares.



Figura 2: Processo de reforço dos pilares

Os pilares P1, P2, P3, P4 e P5, são todos iguais possuindo uma base quadrada de dimensões 10 cm x 10 cm, e uma altura de 55 cm. O pilar P1 foi escolhido como pilar de referência, que seria ensaiado sem o reforço de fibra. Os demais pilares foram reforçados com a fibra através do seguinte critério: o pilar P2 foi reforçado apenas com uma faixa de 10 cm x 50 cm confinada no meio do pilar, equidistante das pontas superior e inferior; o pilar P3 possuía duas faixas de 10 cm x 50 cm que o confinavam, separadas equidistantes das pontas e entre si; o pilar P4 tinha três faixas de confinamento de 10 cm x 50 cm igualmente espaçadas das pontas e entre si; e o pilar P5 foi confinado por apenas uma faixa de 40 cm x 50 cm que cobria grande parte das faces de concreto do pilar. A Figura 3 ilustra como ficou a disposição do reforço em cada pilar.

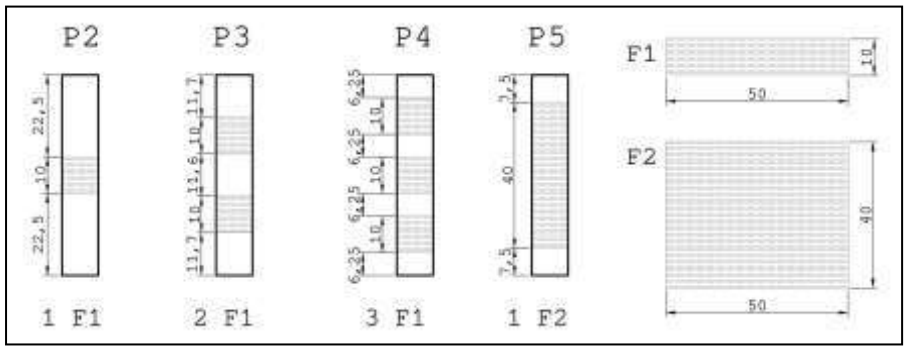

Figura 3: Detalhamento do reforço utilizado

A seguinte etapa do ensaio ocorreu duas semana após o procedimento de reforço dos pilares, que constituiu na realização do ensaio de compressão dos cinco pilares. No inicio do ensaio de cada pilar, foi aplicado uma carga de 5 kN para a acomodação da estrutura, e em seguida foram aplicadas as cargas continuamente aumentando de 20 em 20 kN, de

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

maneira gradativa, e a cada parada de 20 kN, anotou-se a medição mostrada nos LVDT's e observou-se o comportamento da estrutura e do reforço. A Figura 4 mostra os pilares ensaiados, tanto o de referência como os reforçados, e a Tabela 2 mostra os resultados das cargas de ruptura dos respectivos pilares com seu reforço.



Figura 4: Pilares ensaiados, sendo 1 de referência e 4 reforçados

Tabela 2 - Carga de ruptura, com especificação do reforço

Pilar	Carga de Ruptura (kN)	Reforço
P1	350	Referência
P2	395	1 Faixa (10cmx50cm)
P3	420	2 Faixas (10cmx50cm)
P4	495	3 Faixas (10cmx50cm)
P5	500	1 Faixa (40cmx50cm)

3.2 Resistência à compressão axial e à tração do concreto

A resistência à compressão do concreto foi obtida através de um ensaio de quatro corpos de prova, moldados e ensaiados de acordo com a norma brasileira [8]. Dos resultados obtidos do ensaio de compressão axial dos corpos de prova, dois valores apresentaram um desvio maior em comparação à média geral, um maior e outro menor. Para determinar a resistência de compressão média, foram usados na fórmula os dois valores com menor desvio. Os resultados dos 4 corpos de prova e a resistência média estão na Tabela 3, e o ensaio é ilustrado na Figura 5.

Tabela 3 - Resistência à compressão dos corpos de prova

Corpo de Prova	Carga de Ruptura (kN)	Diâmetro (mm)	Resistência à Compressão (MPa)
CP1	212	100	26,99
CP2	208	100	26,48
CP3	124	100	15,79
CP4	262	100	33,36
Resistência à compressão média do concreto: 26,74 MPa			

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 5: Ensaio de compressão axial dos corpos de prova

O valor da resistência à tração média foi obtido utilizando-se a equação (1) de acordo com a norma brasileira [3], substituindo o valor da resistência à compressão característica pelo valor da resistência à compressão média, onde obteve-se um valor de 2,68 MPa.

$$Fct,m = 0,3.(Fck)^{2/3} \quad (1)$$

4. ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

4.1 Análise dos resultados através da resistência dos materiais

Quando um corpo é submetido a uma carga axial, espera-se que esta carga seja distribuída no entorno da secção transversal desse corpo, essa distribuição recebe o nome de tensão. Quando o carregamento aplicado nesse corpo tende a comprimi-lo, temos uma tensão de compressão estabelecida nesse corpo. Ao analisarem-se as deformações, espera-se que haverá, obviamente, uma diminuição no comprimento do corpo, mas também é observado que quando as tensões de compressão são aplicadas axialmente no corpo, na secção transversal aparecem tensões de tração que tendem para que o corpo se expanda lateralmente. A relação entre a deformação lateral e a deformação axial é denominada *Relação de Poisson*, e através dessa relação é calculada o coeficiente de Poisson dos materiais. A Figura 6 ilustra como ocorre a formação dessas tensões nos pilares ensaiados.

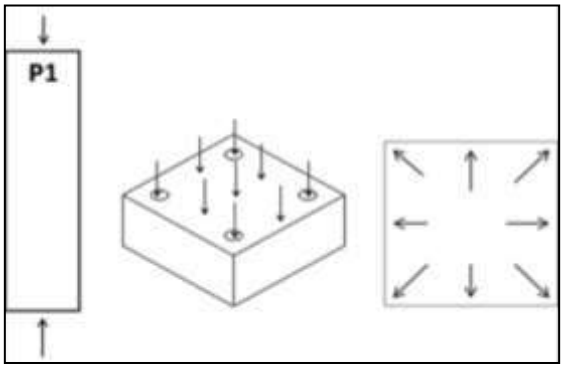

Figura 6: Distribuição de tensões em um pilar

Como os pilares foram submetidos a um ensaio de compressão, o esperado seria que os esforços axiais seriam transmitidos aos reforços de fibra de carbono que teriam uma reação contrária, controlando assim as deformações laterais sofridas pelos pilares, e consequentemente aumentando a sua capacidade para receber cargas maiores em comparação a um pilar sem reforço. Nos ensaios foram coletados dados de deformações de cada um dos cinco pilares. Através desses dados é possível construir um gráfico carga-deformação de cada um dos pilares, e através desses gráficos foi feita uma comparação de cada pilar com o pilar de referência. A Figura 7 mostra os cinco gráficos de carga-deformação específica dos cinco pilares.

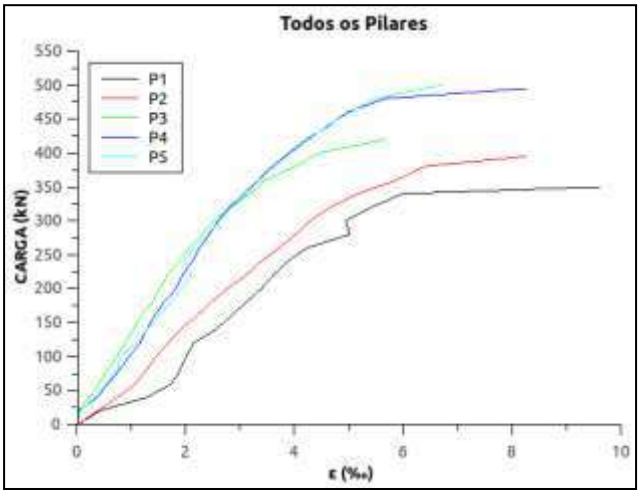

Figura 7: Gráficos carga-deformação dos cinco pilares.

O alto índice de deformação na ruptura, superior aos 3,5‰ do concreto, teoricamente, pode ser explicado pelo elevado número de armadura transversal. Na comparação com o pilar de referência foi possível observar que houve um grande aumento na resistência dos pilares. Esses valores são explicitados na Tabela 4.

Tabela 4 - Comparativo entre o ganho de resistência dos pilares

Pilar	$N_{rupt.}$ (kN)	Aumento de Resistência (f %)	Deformação de Rupt. (ε)
P1	350	35 MPa (Referência)	9,60‰
P2	395	12,80%	8,24‰
P3	420	20,00%	5,67‰
P4	495	40,00%	8,25‰
P5	500	42,90%	6,70‰

Pelas observações, e dos dados obtidos, constatou-se de que a presença do reforço, em comparação ao pilar de referência, pode gerar um ganho superior à marca dos 40%, e pela análise do gráfico, pode-se perceber uma ascendência nos gráficos dos pilares. Tais observações podem demonstrar, que na medida em que aumenta-se a área de reforço usada, também há um aumento na resistência do pilar.

4.2 Análise através do Método de Bielas e Tirantes

A norma brasileira [3], diz que elementos que apresentam descontinuidade generalizada ou descontinuidade geométrica podem ser dimensionados através do método de bielas e tirantes. O Método de Bielas e Tirantes é caracterizado como uma generalização da analogia da treliça clássica de Mörsch, possibilitando uma análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado. O modelo de bielas e tirantes teve um grande avanço em meados dos anos 80, quando os pesquisadores alemães Schlaich e Shäfer, pesquisadores de Stuttgart, passaram a utilizar o modelo para vários elementos de concreto com um trabalho cientifico mais refinado e criaram uma generalização para a treliça clássica. Este método consiste em idealizar estruturas de concreto armado como treliças, onde os campos de tensões são tratados como forças agindo em uma treliça. O modelo sugere a interação dos campos de zona comprimida (bielas) com os campos onde o concreto sofre tração (tirantes), que podem ser absorvidos por barras da armadura da estrutura, e a região de encontro das bielas com os tirantes ou com cargas aplicadas é denominada de nó. Este modelo permite ao engenheiro uma análise geral da estrutura, inclusive em zonas de descontinuidade estática [9]. O Modelo de Bielas e Tirantes tem tomado a atenção dos pesquisadores atualmente, pois a fácil idealização da treliça é comprovada experimentalmente, inclusive, muitas das normas de dimensionamento de estruturas de concreto vêm se reinventando para considerar também esse modelo.

Para o presente trabalho, adotou-se um modelo de bielas e tirantes mais simplificado, para uma análise mais didática, e melhor compreensão e visualização do problema. O modelo utilizado representava a aplicação da carga, nos extremos dos pilares, e com a aplicação, pode-se idealizar como acontece a propagação das tensões ao longo dos pilares. A Figura 8 apresenta o modelo utilizado no trabalho.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

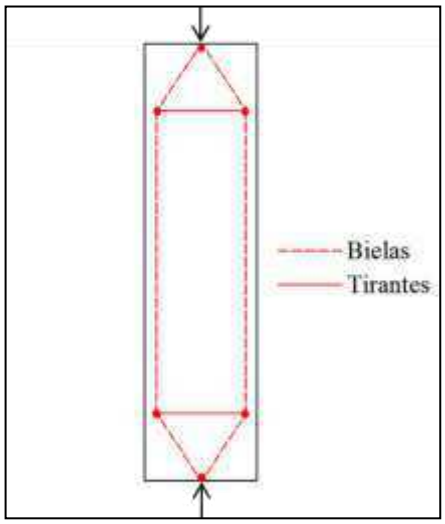

Figura 8: Modelo simplificado de bielas e tirantes utilizado neste trabalho

Em um modelo de bielas e tirantes existem basicamente dois tipos de nós. No encontro onde há apenas bielas ou tirantes é denominado nó contínuo, onde há o encontro de bielas, tirantes e a carga é chamado nó simplificado. Para a determinação da intensidade das bielas e dos tirantes podemos pegar o nó simplificado onde há a aplicação da carga e obter esse valor pelas equações de equilíbrio do nó. O ângulo entre a biela e o tirante pode ser determinado usando valores tabelados em várias normas usadas pelo mundo. Nesse trabalho, adotaremos o ângulo de 45º. Pelo equilíbrio encontramos as equações que relacionam a carga, a biela e o tirante. As equações são mostradas a seguir.

$$B\ (\text{biela}) = -\ N\ (\text{carga}) / 2\ \text{sen}\ 45^{\circ} \quad (2)$$

$$T\ (\text{tirante}) = N\ (\text{carga}) / 2 \quad (3)$$

No modelo utilizado, as bielas, que são zonas de compressão, podem ser compreendidas como a reação do concreto à compressão aplicada pelos carregamentos, e os tirantes, como as forças que tentam tracionar o concreto em seu eixo transversal. Pelo equilíbrio pode-se entender que a reação realizada pelo reforço, tende a ter a mesma intensidade em módulo do tirante no concreto. Através dessa relação pode-se obter uma análise do reforço comparando-a com a área de distribuição do reforço no concreto. Através dessa análise, foi feito um comparativo entre a relação tirante de ruptura de cada pilar reforçado pelo tirante de ruptura do pilar de referência e a distribuição de reforço em cada pilar. A Tabela 5 mostra o comparativo anteriormente descrito.

Tabela 5 – Comparativo entre o tirante e a distribuição de reforço

Pilar	$N_{rupt.}$	$N_{rupt.}/N_1$	$T_{rupt.}$	$T_{rupt.}/T_1$	$A_{reforço}$	$A_{concreto}$	$A_{ref.}/A_{conc.}$
P1	350	1,00	175,0	1,00	0	2200	0
P2	395	1,13	197,5	1,13	400	2200	0,18
P3	420	1,20	210,0	1,20	800	2200	0,36
P4	495	1,41	247,5	1,41	1200	2200	0,55
P5	500	1,43	250,0	1,43	1600	2200	0,73

Os valores dispostos na tabela foram postos em um gráfico de dispersão e foi feita uma análise estatística para poder-se criar uma curva de tendência, onde os valores estão próximos à linha, demonstrando que é possível fazer uma estimativa de reforço por área de concreto. A Figura 9 mostra o gráfico e a linha de tendência.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

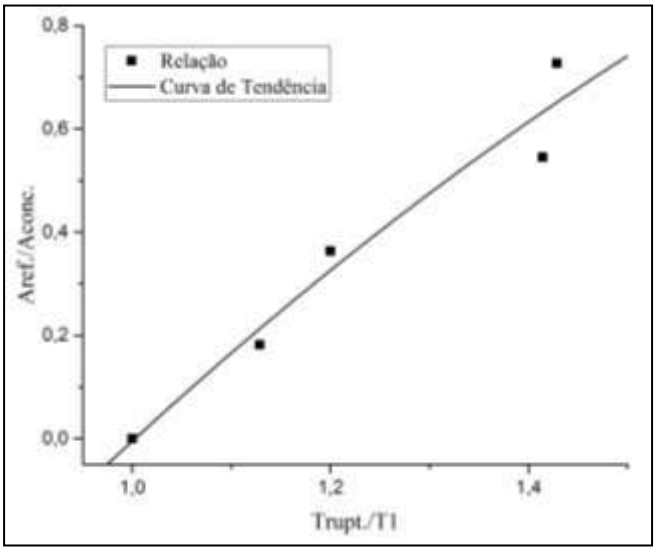

Figura 9: A em função de T

Através dos pontos do gráfico a linha de tendência pode ser equacionada, obtendo-se assim, um modelo matemático para a estimativa da distribuição de reforço em um pilar. O modelo matemático obtido fornece a distribuição de reforço em função da taxa de carga útil que será aplicada no pilar. A equação (4) é a equação que descreve o comportamento da linha de tendência.

$$(A_{ref.}/A_{conc.}) = -0{,}5399(T_{rupt.}/T_1)^2 + 2{,}8417(T_{rupt.}/T_1) - 2{,}3065 \quad (4)$$

Para encontrar a taxa de carregamento que uma dada distribuição de reforço poderá suportar, foi calculada outra linha de tendência, agora com a taxa de carregamento em função da distribuição de reforço. O gráfico dessa linha de tendência é ilustrado na Figura 10, e a equação (5) mostra a lei cuja linha obedece.

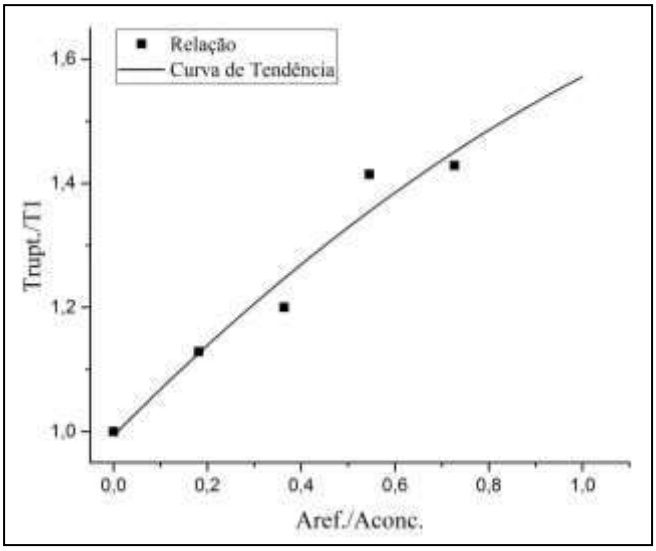

Figura 10: T em função de A

$$(T_{rupt.}/T_1) = -1852(A_{ref.}/A_{conc.})^2 + 0{,}7633(A_{ref.}/A_{conc.}) + 0{,}9935 \quad (4)$$

Esta análise concluiu que na medida em que se aumenta o reforço, há uma reação maior contra o desprendimento do concreto, através da tração (tirantes). O modelo de bielas e tirantes adotado para o presente trabalho foi feito através das observações obtidas experimentalmente, porque foi visto que os pilares tiveram um esforço maior nas pontas devido,

claramente, à presença dos tirantes. Nos locais mais próximos das pontas dos pilares foi visto um esforço maior da fibra e, em alguns casos, por atuar apenas em uma direção, pôde-se notar aberturas no sentido longitudinal das faixas, mas sem rompimento das fibras.

5. CONCLUSÃO

O reforço apresentado neste trabalho se torna vantajoso por causa da fácil aplicação para diferentes tipos de problemas que ocorrem nos pilares, onde podem ser reforçados sem alteração alguma na estrutura do pilar. Através das análises foi possível compreender que o reforço atuou de maneira significativa, possibilitando aos pilares receber cargas maiores do que aquele sem o reforço. Pelas análises das deformações, o reforço deu aos pilares uma resistência maior, como pode ser visto ao se observar a Figura 7, onde todas as curvas estão acima da curva do pilar de referência. No que concerne às deformações, não se pode pôde chegar a uma conclusão mais abrangente, por conta de não ser possível controlar as deformações, já que a prensa utilizada no ensaio não permite esse controle. A alta dutilidade dos pilares deve-se ao fato de que a fibra atuou para conter a deformação lateral dos mesmos, e apresentou deformações no regime elástico, possibilitando aos pilares um aumento pouco significativo na área das suas secções transversais. No entanto, não houve rompimento da fibra, visto que os pilares romperam de forma que não podiam receber mais cargas, provando a eficiência do reforço para esse tipo de caso.

Dentre as vantagens da fibra, a fácil aplicação é notável, pois não precisa de uma mão-de-obra qualificada para o serviço, desde a imprimação até a aplicação da fibra, todos os estágios dos processos são simples e de fácil execução. Dentre outras vantagens para a fibra destaca-se também a estética, pois a mesma pode ser facilmente escondida com uma camada de tinta. O reforço de fibra de carbono mostrou ser eficiente, mediante as conclusões obtidas, mas ainda insuficientes para o esclarecimento de todas as dúvidas, pois aos esforços solicitados o reforço suportou bem. Compreende-se então que há uma necessidade de que haja estudos adicionais para encontrar outros meios alternativos para o uso deste reforço.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

O aprimoramento desta pesquisa é de elevada importância, pois os trabalhos com esse tipo de reforço ainda são escassos no Brasil. O reforço mencionado anteriormente apresenta boa dutilidade, podendo haver trabalhos sobre a atuação do reforço, através de métodos numéricos e experimentais. O presente trabalho atuou apenas com quatro distribuições de reforço diferentes, assim sugere-se que para trabalhos futuros possa haver outros tipos de distribuição e confinamento de pilares ou vigas. Neste trabalho o reforço foi usado para solicitações de compressão e deixando uma margem para pesquisas que trabalhem para solicitações de tração na flexão em pilares. A análise estatística através do Modelo de Bielas e Tirantes proporcionou a criação de um modelo matemático para estimativa de reforço e de carga atuante, sendo utilizada uma expressão polinomial. Logo, a sugestão para outros trabalhos seria de que fosse usado um modelo matemático que usasse uma expressão logarítmica para uma estimativa ao cálculo da resistência do reforço e do pilar.

7. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Viapol, empresa patrocinadora desta pesquisa, por fornecer as mantas de fibras de carbono e assim incentivar o desenvolvimento de conhecimento tecnológico e o aperfeiçoamento de técnicas de reforço estrutural, sempre contribuindo para o engrandecimento da Engenharia Civil.

Agradecem também à Construtora Cameron, pelo custeio dos materiais e mão de obra empregados na confecção dos pilares, e pelo apoio de sempre às pesquisas realizadas pelo GEM, mostrando ser uma empresa que se preocupa com o futuro da Construção Civil.

8. REFERÊNCIAS

[1] MARQUES, Eduardo Alcino de Farias. **Avaliação Numérica e Experimental de Pilares de Concreto Armado Encamisados com CFRP.** 2014. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

[2] CARVALHO, R. C.; PINHEIRO, L.M. **Cálculo e Detalhamento de Estrutura Usuais de Concreto Armado.** V. 2, 1 ed. São Paulo: PINI, 2009.

[3] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro: 2014.

[4] CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado.** 1 ed. São Paulo: PINI, 1988.

[5] EDWARDS, K. L. **An Overview of The Tecnology of Fibre-Reinforced Plastics for Design Puporses.** Materials and Design, V. 19, p. 1-10, 1998.

[6] MACHADO, Ari de Paula. **Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono.** Viapol. s/d.

[7] 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: 03 fev. 2016.

[8] ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro: 2007.

[9] SILVA, Rodrigo Farias da. **Análise de Vigas de Concreto Armado com Furos na Vertical e na Horizontal via Método de Bielas e Tirantes.** 2013. Monografia – Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2013. P. 26-32.

TIMOSHENKO, Stephen P., GERE, James E., **Mecânica dos Sólidos.** Tradução e Revisão: José Rodrigues Carvalho. Rio de Janeiro: LTC, [1983].

SANTOS, Daniel dos. **Análise de Vigas de Concreto Armado Utilizando Modelos de Bielas e Tirantes.** 2006. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006. P. 28-39.