Anais do Congresso Brasileiro de Patologia das Construções
CBPAT2016

Abril de 2016
ISSN 2448-1459

AVALIAÇÃO DA TECNICA DE REFORÇO ATRAVES DO ENTALHE SOBRE O RECOBRIMENTO UTILIZANDO LAMINADO DE POLIMERO REFORÇADO COM FIBRA DE CARBONO EM LIGAÇÕES VIGA-PILAR DE ELEMENTOS PRÉ-MOLDADOS

J. RIBEIRO
Engenheiro Civil
UNAMA
Pará; Brasil
Joaoluiz.sribeiro@gmail.com

M. PEREIRA
Engenheiro Civil
UNAMA
Pará; Brasil

RESUMO

O devido estudo teve como ponto fundamental avaliar tecnicamente a aplicação de laminados de polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como reforço em ligações via-pilar de elementos pré-moldados, através de entalhes sobre o recobrimento do modelo de ensaio proposto. Então fora realizado um levantamento bibliográfico quanto à eficácia e ónus provocados pelos laminados de PRFC, permitindo avaliar quais são os possíveis problemas que tal método de reforço teria em sua aplicação, logo desenvolve-se um modelo de ensaio em escala reduzida para que fosse observado a progressividade de patologia nas ligações de elementos pré-moldados, especificamente da ligação viga-pilar, em seguida fora executado um entalhe sobre a região afetada e aplicado o laminado de PRFC. Tal estudo permitiu concluir que dependo do grau de deterioração da ligação a aplicação de tal método de reforço pode se torna ineficaz pelo fato da má aderência que existi entre o elemento que tem sofre patologia e a resina epóxi responsável pela aderência e transferência de esforços cisalhantes para o laminado de PRFC.

Palavras-chave: Reforço, Entalhe, PRFC, Pré-moldado.

ABSTRACT

The proper study was fundamental point technically evaluate the application of laminated polymer reinforced with carbon fiber (CFRP) as reinforcement connections via-pillar precast elements through slots on the coverage of the proposed test model. Then out based on a literature about the effectiveness and burden caused by laminates of CFRP in order to evaluate what are the possible problems, this reinforcement method would in your application as soon develops a test model scaled to be observed pathology progression in bonds of precast elements, specifically the beam-column connection, then run off a notch on the affected area and apply the laminate of CFRP. This study found that depending on the degree of deterioration of the link the application of such reinforcement method can become ineffective because of poor adhesion that existed between the components has suffered pathology and epoxy resin responsible for the adhesion and transfer shear efforts to CFRP laminate.

Keywords: Strengthening, Carving, CFRP, Precast.

1. INTRODUÇÃO

O reparo em uma estrutura pode ocorrer de diversas maneiras, o engenheiro estrutural deve avaliar e analisar qual o método mais viável para a situação. Quando tratamos de reforços nas ligações do sistema pré-moldado, é usual o uso de algumas técnicas simples de reparo como: aumento de secções próximo as extremidades das peças ou a utilização de chapas metálicas. Alguns levantamentos bibliográficos demonstram que as manifestações patológicas em elementos pré-moldados, na maioria dos casos, têm problemas relacionados a danos acidentais ou má execução. O ponto crucial de uma estrutura pré-moldada são suas ligações tendo em vista que as mesmas são responsáveis pela estabilidade global da estrutura, portanto toda e qualquer problema que venha afetar tal local, pode ocasionar até a ruina da estrutura [1];[2];[3].

Um método de reabilitação estrutural que vem sendo difundido e aceito junto ao mercado, é a utilização de polímeros reforçados com fibra de carbono, seja através da técnica de laminado ou tecido, sendo está uma tecnologia relativamente recente no Brasil, teve como seu primeiro uso registrado na década de 90. A durabilidade, leveza e o alto módulo de elasticidade (podendo chegar a 800 GPa) dos PRFC (Polímeros Reforçados Com Fibra De Carbono) são as características responsáveis pela sua boa aceitação de mercado de reparos e reabilitações. O custo do compósito, que chega a ser dez vezes maior que o do aço, representa apenas 20% do custo total da obra de reforço e pode ser compensado pela economia gerada na execução mais rápida, fácil e limpa. [4]

Neste contexto, algumas técnicas de aplicação foram elaboradas para esse tipo de material, em especial o método de colagem externa do laminado de PRFC, que se denotou com uma forma rápida e de fácil aplicação. Por conta fatores desfavoráveis em determinadas situações na técnica de colagem, que pode-se citar: exposição a intemperes, desconforto estético e desprendimento prematuro do reforço, um novo método fora proposto para suprir as deficiências no sistema e hoje já conta com um acervo bibliográfico significativo para aplicação com confiabilidade, tal técnica conhecida como NSM (Near Surface Mounted),consiste basicamente na aplicação do laminado de PRFC através de um entalhe sobre o recobrimento realizado no elemento estrutural, proporcionando um dupla área de aderência com a resina epóxi, assim como vantagens estéticas pelo fato de não necessitar de uma camada de proteção. No Brasil ainda existe uma barreira técnica na NSM, por não possuir nenhuma norma que estabeleça os procedimentos de projeto para a utilização de tal modelo de forma regulamentada, logo a busca por compreender pontos crucias de aplicação deste método, torna-se uma informação de extrema importância seja para projetistas ou para futuro estudos.

2. METODOLOGIA APLICADA

Para a realização desta pesquisa, fora desenvolvido uma análise experimental que pudesse contemplar todos os aspectos necessários para analisar o comportamento de uma ligação pré-moldada, assim como atendesse os requisitos mínimos para a aplicação da técnica de NSM, logo tendo como base o estudo experimental já realizadas nesse campo de pesquisa por alguns autores ([1],[3]), foi idealizado e executado um modelo piloto em escala reduzida de uma ligação viga-pilar em elementos pré-moldados, composto basicamente de duas vigar, dois consolos e um pilar, tal modelo seria submetido a uma carga através do método “upside down”. Todo o experimento foi divido em quatro partes distintas para confecção de dois modelos pilotos, sendo que a primeira parte consistiu na definição do método de ensaio, já a segunda foi a realização da aplicação previa de carga sobre dois modelos pilotos, a terceira parte foi a aplicação do reforço, e a última etapa foi a realização do ensaio final com a definição dos resultados obtidos.

2.1 Definição do método de ensaio

Para realizar a análise experimental, primeiramente foi necessário idealizar um método de ensaio que pudesse contemplar as tensões junto as ligações de um modelo piloto que também seria desenvolvido, com isso idealizou-se o primeiro modelo em escala reduzida, onde basicamente seria um pilar com dois consolos, duas vigas e entre a interface da viga-consolo teria um junta responsável por permiti que não ocorresse um esmagamento na interface no concreto, tal junta inicialmente foi definida com o uso de uma almofada de elastômero mas após algumas análises sobre influências no resultado final, houve um troca para um junta de graute.

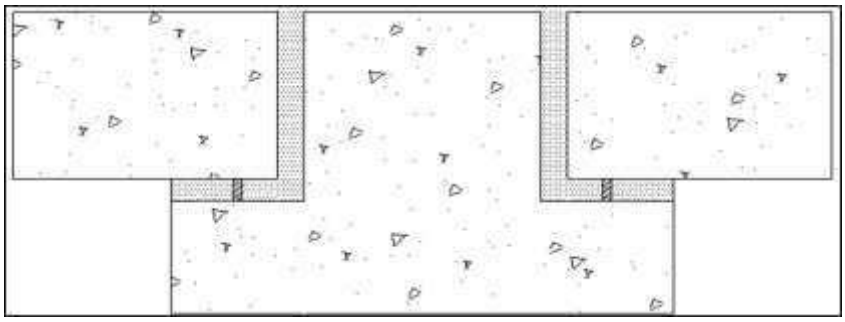

Figura 1: Modelo piloto de ensaio

Com a definição do modelo piloto, foi possível montar o método de ensaio. Tendo como base algumas literaturas de análises experimentais em sistemas pré-moldados ([3],[5]), se definiu que o método de ensaio "upside down" seria satisfatório para o experimento desejado. Basicamente tal ensaio consiste em virar o modelo de tal forma que as extremidades das vigas fiquem sobre dois apoios que podem ou não ser rotulados (No ensaio realizado os apoios eram rotulados) e aplicar uma carga na parte inferior do modelo, assim provocando tensões como de cisalhamento no chumbador de fixação da viga-consolo e flexão nas armaduras de continuidade, promovendo exatamente os esforços que sofreria o modelo, se as cargas fossem aplicadas no balanço de cada viga.

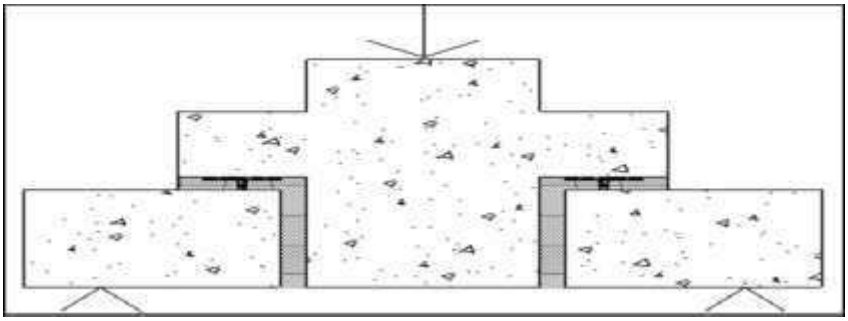

Figura 2: Proposta de ensaio

Pelo fato de se tratar de um modelo em escala reduzida, ocorreu uma pequena modificação no ensaio se comparado aos modelos tirados como base, a aplicação de carga superior não foi concentrada, mas sim distribuída ao longo do corpo do pilar, para que não ocorresse o esmagamento do concreto de recobrimento, permitindo então que o ensaio fosse realizado mais de uma vez.

2.2 Aplicação de carregamento

Com a finalização dos modelos, todos foram transportados para o Laboratório de materiais situados na Universidade da Amazônia, para a realização dos ensaios. Inicialmente a prensa universal responsável pelo ensaio teve que sofrer algumas alterações, onde trocou-se a base inferior para uma que possuía dois apoios. O sistema de operação da prensa também sofreu alteração, onde a empresa EMIC, que é responsável pela prensa, desenvolveu um método exclusivo para este ensaio, levando em consideração a dimensão do modelo a ser ensaiado e distância dos apoios.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 3: Realização do experimento

Cada modelo sofreu uma carga diferente para que fosse analisado a aplicação de reforço em diferentes condições de deterioramento, sendo que o primeiro modelo sofreu 70 % da carga de ruptura que fora ensaiada em outro experimento previamente, já o segundo modelo sofreu 90% da carga de ruptura, onde já ocorrei o escoamento parcial da armadura de continuidade. Todo o controle de carregamento era verificado minuciosamente pelo operador do equipamento.
Um ponto importante a se destacar é que todos os modelos passaram por uma checagem quanto seu nivelamento na parte superior, para que não ocorresse qualquer interferência por conta de um carregamento inadequado em um dos lados do modelo de ensaio, logo algumas correções foram feitas com a utilização de graute, mas que não interferiram no ensaio realizado.

2.3 Reforço do modelo de ensaio

Depois da realização do ensaio, os modelos foram retirados dos equipamentos e preparados para a execução de reforço dos mesmos. Para efetuar o entalhe no cobrimento de concreto dos modelos, foi utilizado uma serra mármore, onde com o corte por via úmida realizou-se um entalhe de cada lado dos modelos, com a largura média de 1,5 a 1,9 mm e profundidade de 20mm (Recobrimento), em seguida o laminado de PRFC era aplicado com a resina epóxi, seguindo os procedimentos do manual técnico da empresa MC-Bauchemie Brasil, responsável por ceder todo o material gratuitamente. Após a aplicação do reforço, foi dado uma latência de 14 dias até que a resina epóxi passasse pelo processo de cura, assim permitindo a realização novamente do ensaio para que fosse atestado ou não a eficácia do reforço em determinadas situações.



Figura 4: Aplicação de reforço no modelo de ensaio

2.4 Ensaio com reforço

Após realizar o reforço das peças em estudo, novamente ambas foram levadas ao laboratório da Universidade da Amazônia para que fosse realizado a segunda etapa do ensaio, fora aplicado a carga de ruptura previamente calculado, em ambos os modelos, sendo que o modelo que anteriormente tinha recebido 90% da carga total, nesta etapa apenas sofreu 40 % da carga, este fato ocorreu devido ao comportamento apresentado pelo reforço. Com a realização desta última etapa foi possível obter dados suficientes para avaliar a técnica NSM, portando criando algumas observações procedimentos e observações quanto a aplicação desta técnica.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 5: Ensaio final

3. RESULTADOS

3.1 Aplicação de carregamento sem reforço

No primeiro modelo que sofreu apenas 70% da carga de ruptura, fora observada poucas fissuras ao longo da junta que existe entre o pilar-viga, também algumas concentradas próximo ao aparelho de apoio e outro ponto com fissuração moderada foi o consolo de ambos o lado do modelo, tais fissuras tinham profundidade que variavam entre 8mm a 13 mm, logo pode-se classificar todas como superficiais.

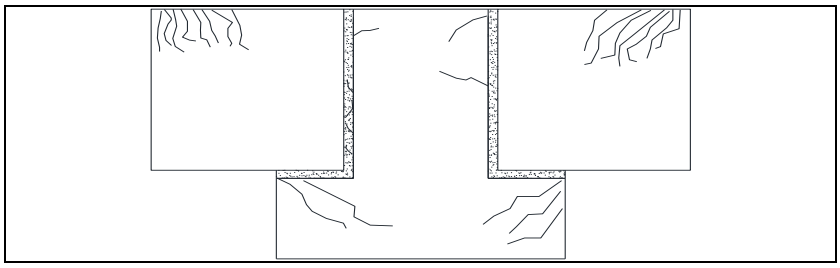

Figura 6: Mapa de fissuração do modelo 1

O segundo modelo apresentou um grau elevado de fissuração ao longo de toda sua estrutura, ressaltando principalmente o ponto central próximo a ligação viga-pilar, as extremidades das vigas apresentaram um esmagamento na parte superior da peça que estava em contato com o aparelho de apoio, mas tal situação não interferiu no resultado. A profundidade da fissuração apresentada no segundo modelo é bem mais acentuada se comparado com o outro, variando entre 23 mm a 28 mm, esta profundidade chega próximo ao recobrimento da peça que foi estipulado em 30 mm.
Além da situação de fissuras, este modelo sofreu o desprendimento do recobrimento de concreto que ficava sobre a armadura de continuidade, tal comportamento já era esperado pelo grande esforço que a armação sofre neste local além dos estudos já realizado por alguns autores, esta situação também justifica o fato do reforço ser feito particularmente nesta área do modelo.

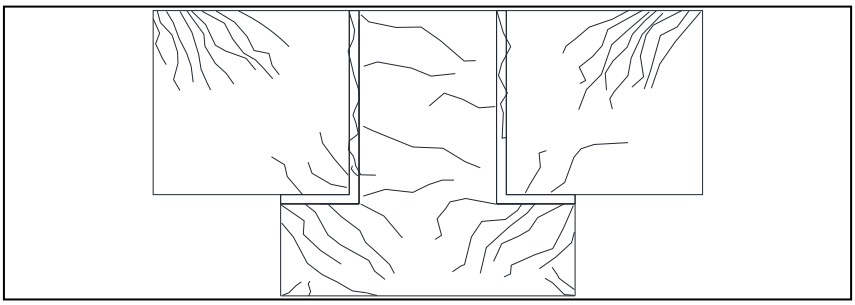

Figura 7: Mapa de fissuração do modelo 2

Com isso podemos observar previamente que o segundo modelo tem um grau elevado de fissuração que pode provocar uma dificuldade na aplicação de reforço pelo fato de ser necessário realizar um entalhe (corte) no recobrimento da peça, com isso podendo vim a agravar o grau de fissuração já existente.

Abril de 2016
ISSN 2448-1459



Figura 8: Mapa de fissuração do modelo 1

3.2 Aplicação de carregamento com reforço

O primeiro modelo de ensaio após o reforço, apresentou excelentes resultados quando a aumento de capacidade de carga e fixação do reforço junto ao recobrimento. Ocorreu um acréscimo na ordem de 15% de carregamento total suportado, tendo como base o valor de ruptura previamente calculado e ensaiado. O laminado de PRFC entalhado sobre o recobrimento, apresentou um comportamento adequado a situação proposta, as fissuras superficiais não chegaram a afetar o modelo que rompeu após a ruptura do reforço.



Figura 9: Rompimento do primeiro modelo reforçado

Tal resultado demonstra que é possível aplicar a técnica de NSM em ligações de pilar-viga que já tenham sofrido algum tipo de fissuração, mas desde que ocorra um tratamento adequado nas mesmas, neste caso devido ser apenas fissuras superficiais, a empresa MC-Bauchemie Brasil alegou que sua resina epóxi seria suficiente para o tratamento, o que se mostrou plausível devido ao fato de não ocorrer qualquer destacamento do Laminado de PRFC junto ao modelo.
O segundo modelo de ensaio teve um comportamento não adequado, devido ao fato de ocorre um destacamento do laminado de PRFC da peça em estudo, após analisar a peça e o entalhe, chegou a um consentimento que o tratamento das fissuras com graute acabou dificultando a aderência da resina epóxi pelo fato do mesmo ser bem menos poroso que o concreto, era bem perceptível que os locais que ocorreu o maior destacamento era o mesmo ponto que tinha o maior reparo com graute.



Figura 10: Rompimento do segundo modelo reforçado

Apesar do segundo ensaio ter ocorrido um rompimento precoce, foi possível constatar que em situações que necessitem de reparo de fissuração ou de recomposição do recobrimento, se faz necessário utilizar outra técnica que possa vim

permitir a aderência da resina epóxi utilizada para fixar o laminado de PRFC. Outro fator a ser destacado e o número de fissuração que ocorreu ao longo do laminado do primeiro modelo de ensaio, que demonstrou uma excelente aderência junto ao modelo proposto.

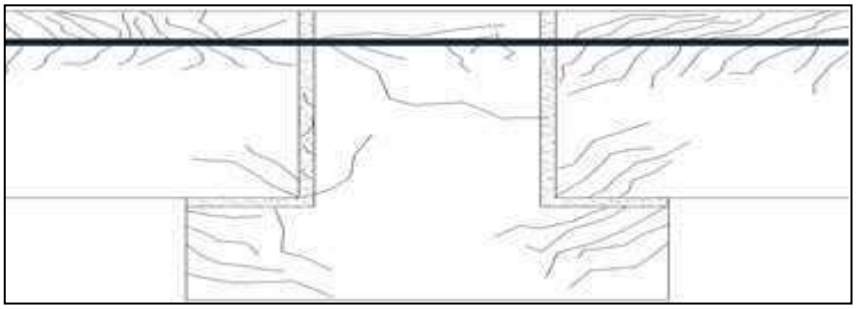

Figura 11: Mapa fissuração primeiro modelo reforçado

3. CONCLUSÃO

Após a avaliação de cada experimente pode-se concluir que a técnica NSM necessita ter uma atenção especial principalmente quando aplicado em localizações muito deteriorados. Nesta pesquisa ficou claro que a utilização de graute vim a atrapalhar a aderência da resina epóxi com a peça estrutural com isso fica-se o adendo sobre a utilização dessas dois matérias em conjunto. Como um todo, a analise experimental se mostrou bem condizendo com o encontrado na literatura logo, permitido criar alguns paralelos. O primeiro ponto a se destacar é o fato desta técnica produzir o grande número de fissurações pelo fato de provocar um entalhe junto a peça reforçada, logo pode ser questionando a situação de uma peça que já sofre alguma manifestação patológica ter que se submeter a mais alguns problemas que podem dificultar ainda mais o reparo. Outro ponto a ser destacado é a "fragilidade" que o reforço provocou na ligação, tal situação se exemplifica pela ocorrência de um rompimento abruto junto a ligação viga-pilar do reforço, em outras palavras o grau de ductilidade deste método de reforço seria um contraponto da utilização do mesmo, tendo em visa que outras técnicas de reparo tendem a dar mais "avisos" próximo ao momento de ruptura
Um ponto importante a se destacar é o ganho de resistência que foi apresentado no primeiro modelo com a utilização dessa técnica, isso permiti abrir alguns questionamentos quanto a eficácia de tal método para melhorar a ligação de um conjunto viga-pilar pré-moldados, logo a buscar por estudos futuros nessa área de pesquisa ainda se faz necessário.

6. REFERÊNCIAS

[1] Miotto, A., "Ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado: análise com ênfase na deformabilidade ao momento fletor". *Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,*2002.
[2] Fonseca, T, "Reforço e incremento da rigidez à flexão de ligações viga-pilar de estruturas de concreto pré-moldado com chapa metálica". *Dissertação (Mestrado), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos,*2007.
[3] Fonseca, T, "Reforço de ligações viga-pilar de estruturas de concreto prémoldado pela colagem de laminados de polímero reforçado com fibra de carbono*".Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos*,2012.
[4] Araujo, C, "Reforço à Flexão e ao Cisalhamento de Vigas de Concreto com Tecidos de fibra de Carbono". *Anais de Congresso Rio de Janeiro*,2002.
[5] Ferreira, M.; El Debs, M.; Elliott, K., "Modelo teórico para projeto de ligações semi-rígidas em estruturas de concreto pré-moldado". *44ºCongresso Brasileiro do Concreto – IBRACON.* 2002.