



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Reforço Estrutural de Lajes de Concreto Armado com Fibra de Carbono

Roberta Aparecida Tomaz, Flavia Lopes Soares, Paulo Henrique Maciel Barbosa

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix / roberta.tomaz2013@gmail.com

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix / flavialopes06@gmail.com

Centro Universitário Metodista Izabela Hendrix / Paulo.barbosa@izabelahendrix.edu.br

Resumo

O surgimento de problemas patológicos em estruturas de concreto armado indica que houve falhas durante uma ou mais fases do processo de construção. Partes destes problemas estão associadas a erros no dimensionamento estrutural, que podem comprometer seriamente a durabilidade das estruturas, colocando em risco a integridade de bens e pessoas. Tais patologias podem ser reparadas sem a necessidade da substituição da peça através de sistemas de reforço estrutural. O presente trabalho consiste na análise do método de reforço estrutural por meio de aplicação de polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC) em lajes de concreto armado. Este método pode ser utilizado em diversos tipos de reforço estrutural por ter como características elevada resistência mecânica, elevada resistência a ataques químicos diversos, alto módulo de elasticidade, por apresentar bom comportamento à fadiga e à atuação de carga cíclicas, demanda menor mão de obra, é não corrosivo, apresenta baixíssima ou nenhuma manutenção ao longo da vida útil, não gera incremento na seção de elementos estruturais e possibilita grande agilidade na aplicação e na liberação. Como estudo de caso foi analisada uma obra que apresentou problemas na estrutura das lajes, havendo necessidade de se realizar um projeto de reforço da estrutura. O projeto previa um sistema de reforço utilizando tecido de PRFC colado diretamente ao concreto com resina epóxi, de modo a agregar a estrutura ao tecido de fibra de carbono. Para a escolha do sistema de reforço levou-se em consideração a agilidade na execução, a necessidade de não modificar o pé-direito do pavimento e a eficiência do sistema. A execução do sistema de reforço foi realizada por uma empresa especializada e está descrita passo a passo por meio de fotos ilustrativas.

Palavras-chave: Polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC); Concreto armado; Fibra de carbono; Reforço estrutural.

1. Introdução

Estrutura de uma edificação é sua parte resistente e tem como funções resistir às ações e as transmitir para o solo. Os elementos que compõe uma estrutura convencional são, basicamente, as lajes, as vigas, os pilares e a fundação.

As lajes são elementos estruturais planos bidimensionais destinados a receber a maior parte das cargas de utilização das edificações aplicadas no piso e transmitir esse carregamento para



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



as vigas. Em uma edificação pode-se utilizar diversos tipos de laje e a escolha da laje adequada depende de condições econômicas e de segurança.

O concreto é o material estrutural mais utilizado no mundo. Seu consumo anual chega uma tonelada por habitante. Outros materiais como madeira, alvenaria e aço também são de uso comum, porém, suas aplicações são bem mais restritas.

Reparos e reforços nas estruturas de concreto armado têm sido frequentes devido ao crescimento das obras e a falta de fiscalização na execução. Este fato impulsionou a procura por novas técnicas e materiais de reforço.

Segundo SOUZA (2009), a tecnologia para reforço de estruturas de concreto com compósitos de fibras de carbono conheceu alguns ajustes importantes e ganhou particular desenvolvimento após a ocorrência do sismo de Kobe, em 1995.

O polímero reforçado com fibra de carbono (PRFC) possui propriedades mecânicas melhores que o aço, além de outras características como rapidez e facilidade na execução, leveza, grande trabalhabilidade e resistência à corrosão.

Este sistema é utilizado para reabilitar ou reforçar elementos estruturais de concreto enfraquecido ou prejudicados por patologias específicas e reforçar elementos em boas condições estruturais para permitir o aumento das cargas solicitantes.

2. Polímero Reforçado com Fibra de Carbono (PRFC)

Segundo SOUZA e RIPPER (2009), os primeiros estudos dos polímeros reforçados com fibra de carbono (PRFC) como um sistema de reforço estrutural surgiram no Japão em decorrência da necessidade de se preparar suas construções para eventuais abalos sísmicos. O PRFC já era amplamente utilizado em outras áreas como na indústria naval, aeronáutica, aeroespacial e automobilística, por ser um reforço de elevado desempenho. Nas estruturas de concreto armado que apresentam boa qualidade do concreto e na ausência de corrosão das armaduras, o PRFC possibilita aumento da resistência à flexão e ao cisalhamento. Pode ser usado em vigas, lajes, pilares, paredes, etc. É indicado para reforçar estruturas quando há mudança na utilização da estrutura, erros na fase de projetos ou execução, reabilitar estruturas após abalos sísmicos ou incêndios.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

Realização:



COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

As fibras de carbono resultam do processo de tratamento térmico (carbonização) de fibras de polímeros orgânicos a elevadas temperaturas, variando de 1000°C a 1500°C. Quanto maior a temperatura deste processo, maior será o módulo de elasticidade do material resultante, variando de 100GPa a 300GPa. (MACHADO, 2010) Suas características mecânicas são diretamente dependentes da estrutura molecular obtida (SOUZA; RIPPER, THOMAZ, 2010).

O PRFC é constituído de dois elementos: a matriz polimérica e o elemento estrutural.

- A matriz polimérica tem o objeto de ligar as fibras e transmitir os esforços externos para as fibras através das tensões tangenciais;
- O elemento estrutural (fibras de carbono) tem a função de absorver as tensões de tração advindas dos esforços solicitantes.

As principais características do PRFC são:

- Elevada resistência mecânica (cerca de 10 vezes a do aço para a mesma seção);
- Elevada rijeza;
- Ótimo comportamento à fadiga e à atuação de cargas cíclicas;
- Elevada resistência a ataques químicos diversos;
- Extrema leveza, devido ao baixo peso específico do sistema (variando de 1,6g/cm³ a 1,9g/cm³). Chega-se ao ponto de não se considerar o seu peso próprio nos esforços;
- Baixo módulo de elasticidade.

De forma geral, o PRFC é encontrado no mercado com as propriedades conforme a Tabela 1 (MACHADO, 2010, p. 11):

Tabela 1: Características gerais das fibras de carbono. Fonte: MACHADO, 2010

Tipo de Fibra de Carbono	Módulo de Elasticidade (GPa)	Resistência Máxima de Tração (MPa)	Deformação de Ruptura (%)
De uso geral	220 - 235	< 3.790	> 1,2
Alta resistência	220 - 235	3.790 - 4.825	> 1,4
Ultra alta resistência	220 - 235	4.825 - 6.200	> 1,5
Alto módulo	345 - 515	> 3.100	> 0,5
Ultra alto módulo	515 - 690	> 2.410	> 0,2



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



A temperatura em que o PRFC começa a "amolecer" é denominada temperatura de transição vítrea (T_G). Acima desta temperatura ocorrem mudanças na estrutura molecular, reduzindo extremamente o módulo de elasticidade. A temperatura de transição vítrea varia entre 80°C a 100°C.

O PRFC é muito utilizado para melhorar o desempenho de pilares de pontes e viadutos. É utilizado um sistema de confinamento dos pilares pelas folhas flexíveis da fibra de carbono que se moldam perfeitamente à sua superfície lateral, conferindo à estrutura um considerável aumento na sua ductilidade. Essa metodologia para pilares já é regulamentada no Japão. (SOUZA; RIPPER, 2009, p. 153).

Para estruturas como vigas e lajes, o PRFC é utilizado para aumentar a capacidade resistente, sendo que nesse processo deve-se dar mais atenção a análise das tensões de deslizamento na interface entre o PRFC e o concreto e ao sistema de amarração do polímero.

2.1 Dimensionamento

Segundo MACHADO (2010), o dimensionamento de sistemas de reforços estruturais com compostos de fibras de carbono deve seguir as recomendações de utilização e de resistência da ACI 318-99, utilizando os fatores de majoração e minoração dos carregamentos e das ações ali contidas. Fatores adicionais de redução aplicados à contribuição do reforço de fibra de carbono são recomendados na ACI 440.2R-02.

Para reforçar estruturas à flexão, a fibra de carbono é aderida na face inferior ou superior da estrutura. Para dimensionar o reforço à flexão de uma estrutura, devem-se levar em consideração alguns parâmetros, tais como:

- Os estudos e cálculos deverão ser efetuados com base nas dimensões existentes das seções e da quantidade e da distribuição das armaduras de aço da mesma, assim como das propriedades e características dos materiais constituintes do elemento de concreto a ser reforçado.
- As seções planas permanecem planas após a ocorrência dos carregamentos e as deformações são linearmente proporcionais à sua distância à linha neutra.
- Despreza-se a resistência à tração do concreto



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



- A deformação do concreto não pode ultrapassar 3,5‰ quando dimensionado segundo os critérios da ABNT e 3,0‰ segundo as recomendações da ACI.
- A aderência entre o sistema composto CFC e o substrato de concreto deve ser perfeita.
- A deformação será considerada linear até a ruptura no sistema composto CFC.

3. A Estrutura

O desenvolvimento do presente trabalho abordará a recuperação de uma edificação comercial a ser utilizada como estacionamento, composta de 03 pavimentos. De acordo com as informações fornecidas pela empresa construtora as especificações de projeto fornecido pelo Escritório de Cálculo são de lajes maciças com as seguintes dimensões: 13m de comprimento, 7m de largura e 0,20m de espessura. O concreto tem $f_{ck} = 30$ Mpa e o aço é o CA-50.

De acordo com relatos fornecidos pela Empresa Construtora, as lajes do 3º pavimento começaram a apresentar problemas como flechas superiores às limites estabelecidas pela NBR 6118 e surgimento de fissuras. Tais problemas foram observados após a desforma das lajes. Adotaram-se de imediato as medidas necessárias para se garantir a segurança dos ocupantes, equipamentos e da própria estrutura, utilizando-se escoramentos metálicos.

Por falta de mais informações por parte da Empresa Construtora, não pudemos constatar se tais problemas tiveram origem no dimensionamento incorreto da estrutura ou na execução. Detalharemos, então, o recurso utilizado para o reforço estrutural.

Para avaliar a situação da estrutura foi contratado um outro Escritório de Cálculo que estabeleceu a necessidade de um reforço na estrutura. O projeto previu reforço na parte inferior da laje através da colocação da fibra de carbono.

4. Reforço da Face Inferior da Laje com Fibra de Carbono

O projeto de reforço contemplava 05 faixas de fibras de carbono Viapol Carbon CFW300, com largura de 15 cm e comprimento de 5 m, a cada 50 cm. O tecido de fibra de carbono utilizado possui especificações técnicas conforme a Tabela 2.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Tabela 2: Especificações técnicas do tecido de fibra de carbono Viapol Carbon CFW300.
Fonte: Viapol, Manual Técnico, 2013.

Característica	Especificação	Unidade
Gramatura	300	g/m ²
Espessura da manta	0,166	Mm
Resistência máxima de tração	4900	MPa
Módulo de elasticidade	230	GPa
Alongamento na ruptura	2,1	%

4.1. Execução do Reforço

Conforme o projeto, foi executado reforço da estrutura afetada com compósito de fibra de carbono (PRFC). A região onde seria aplicada a fibra de carbono apresentava pequenas falhas na superfície. Então se fez necessária a preparação do substrato para recebê-la. Foram realizados os seguintes passos:

- Limpeza da superfície utilizando poltriz com aspirador de pó acoplado, com o objetivo de remover poeira, pó, substância oleosas e graxas, partículas sólidas não totalmente aderidas, recobrimentos diversos como pinturas, argamassas, etc.
- Aplicação do imprimador Viapol Carbon Primer com a finalidade de tampar a porosidade do concreto, promover uma aderência adequada no substrato e prepará-lo para receber as próximas etapas, como mostra a Figura 1.



Figura 1: Aplicação do imprimador Viapol Carbon Primer



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21,22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



- Aplicação de regulador de superfície (estucamento) com o Viapol Carbon Stuc, para cobrir buracos e falhas de concretagem que necessitavam de preenchimento mais profundo, como mostra a Figura 2.



Figura 2: Aplicação do Viapol Carbon Stuc

- Aplicação da primeira camada de resina saturante com 0,4Kg/m² Viapol Carbon Saturante, para impregnar a lamina de fibra de carbono e aderir a superfície do concreto, conforme a Figura 3.



Figura 3: Aplicação do saturante Viapol Carbon Saturante



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de
maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



- Aplicação do tecido de fibra de carbono Viapol Carbon CFW300 com o auxílio do rolo de pintura, conforme a Figura 4.



Figura 4: Aplicação do tecido de fibra de carbono Viapol Carbon CFW300

- Aplicação da segunda camada de resina saturante para completar a impregnação do tecido de fibra de carbono, conforme a Figura 5.



Figura 5: Aplicação da segunda camada de resina saturante Viapol Carbon Saturante

Segundo informações fornecidas pelo profissional de execução, foi necessário reforçar a aplicação nas extremidades para que o sistema não descole, conforme mostra a Figura 6.



VII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas

21, 22 e 23 de maio de 2014
RIO DE JANEIRO

COMEMORANDO 40 ANOS DA PONTE RIO NITEROI

Realização:



Figura 6: Reforço da aplicação de resina saturante nas extremidades do sistema

5. Considerações Finais

Após a análise do projeto arquitetônico, verificou-se que a altura do pé-direito do estacionamento a ser reforçado era 2,10m, não podendo ser alterado. Além disso, o prazo para a execução de reforço teria que ser curto para não comprometer a entrega da obra.

Tendo em vista estas informações, a escolha do PRFC como sistema de reforço estrutural foi adequada à situação. Embora fosse mais cara (cerca de 40% a 50%), permitiria uma fácil e rápida execução, possuindo uma grande resistência à tração.

Outro ponto que muito influenciou na escolha foi o fato da fibra de carbono possuir baixo peso específico, chegando a não ser considerada no cálculo do peso próprio da estrutura.

É importante salientar que para a escolha do tipo de reforço deve ser consultado um especialista, pois a fibra de carbono possui algumas peculiaridades que devem ser estudadas com cautela.

6. Referências

CARVALHO, ARI DE PAULA – Manual de Reforço das Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carvalho. Viapol. 2010.

SOUZA, VICENTE CUSTODIO MOREIRA DE; RIPPER, THOMAZ - Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto. Editora Pini LTDA, 2009.

BASTOS, PAULO SERGIO DOS SANTOS - Fundamentos do Concreto. Universidade Estadual Paulista. Campos de Bauru/ SP, 2006.

MEDEIROS, MARCELO HENRIQUE FARIAS DE - Durabilidade e Vida Útil das Estruturas de Concreto. Universidade Federal do Paraná, Vol. 1, Cap. 22, 2011.

VIAPOL - Manual Técnico. Edição 13, p. 272, 2013.