

REFORÇO ESTRUTURAL EM FIBRA DE CARBONO PARA ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

Thiago Thielmann de Araújo¹

thiagoraujothg@gmail.com

2.º Wladimir Nascimento Silva

Junior²

wladimirnsj@hotmail.com

ÁREA: REABILITAÇÃO DE EDIFÍCIOS

Resumo

As estruturas das edificações sofrem com a degradação natural dos materiais e o aparecimento de anomalias. Dentre as causas possíveis destaca-se a falta de manutenção, a mudança de carregamentos, inúmeras deficiências de projeto e a má execução. Até a ineficiência dos materiais constituintes da peça estrutural levam a necessidade de um reforço estrutural. Existem vários métodos destes reforços, com a finalidade de reabilitar a estrutura em questão. Este trabalho tem como objetivo documentar um reforço em compósito de fibra de carbono em uma estrutura de concreto armado. Inicia-se o estudo com uma revisão bibliográfica sobre a metodologia de reforço estrutural com fibra de carbono, abordando os materiais e procedimentos das referências. Posteriormente o estudo de caso foi apresentado por meio da descrição do local do reforço, dos materiais envolvidos, da descrição do processo executado. Também é abordado como este tipo de reforço foi viabilizado dentro das opções disponíveis de reforço estrutural. O trabalho permitiu esclarecer como as empresas estão realizando este tipo de reforço, tornando-o viável técnica e financeiramente. O reforço estrutural em fibra de carbono se mostrou como a técnica acessível e eficaz para estruturas de concreto armado caso seja executado dentro do procedimento orientado por um especialista, respeitando as recomendações técnicas dos produtos utilizados.

Palavras-chave: Reforço Estrutural

Estruturas de Concreto Armado

Fibra de Carbono

Estudo de Caso.

¹ Mestre em Ambiente Construído pela UFJF, Professor dos Cursos de Engenharias e Arquitetura da Universidade Veiga de Almeida

² Engenheiro Civil pela Universidade Veiga de Almeida



REFUERZO ESTRUCTURAL EN FIBRA DE CARBONO PARA ESTRUCTURAS DE CONCRETO ARMADO

Thiago Thielmann de Araújo³

thiagoraujothg@gmail.com

2.º Wladimir Nascimento Silva

Junior⁴

wladimirnsj@hotmail.com

AREA: REHABILITACIÓN DE EDIFICIOS

Resumen

Las estructuras de las edificaciones sufren con la degradación natural de los materiales y la aparición de anomalías. Entre las causas posibles se destaca la falta de mantenimiento, el cambio de cargas, innumerables deficiencias de diseño y la mala ejecución. Hasta la ineficiencia de los materiales constituyentes de la pieza estructural llevan la necesidad de un refuerzo estructural. Hay varios métodos de estos refuerzos, con el fin de rehabilitar la estructura en cuestión. Este trabajo tiene como objetivo documentar un refuerzo en composite de fibra de carbono en una estructura de hormigón armado. Se inicia el estudio con una revisión bibliográfica sobre la metodología de refuerzo estructural con fibra de carbono, abordando los materiales y procedimientos de las referencias. Posteriormente el estudio de caso fue presentado por medio de la descripción del local del refuerzo, de los materiales involucrados, de la descripción del proceso ejecutado. También se aborda cómo este tipo de refuerzo fue viable dentro de las opciones disponibles de refuerzo estructural. El trabajo permitió aclarar cómo las empresas están realizando este tipo de refuerzo, haciéndolo viable técnica y financieramente. El refuerzo estructural en fibra de carbono se mostró como la técnica accesible y eficaz para estructuras de hormigón armado si se realiza dentro del procedimiento orientado por un especialista, respetando las recomendaciones técnicas de los productos utilizados.

Palabras clave: Refuerzo estructural
Estructuras de Concreto Armado
Fibra de carbono
Estudio de caso

³ Mestre em Ambiente Construído pela UFJF, Professor dos Cursos de Engenharias e Arquitetura da Universidade Veiga de Almeida

⁴ Engenheiro Civil pela Universidade Veiga de Almeida

Introdução

Ao projetar uma estrutura de concreto armado, é de grande importância atender as finalidades no qual foram concebidas, com fatores que influenciam diretamente na qualidade e segurança desta estrutura, a concepção e projeto, utilização e a execução.

A estrutura de concreto armado tem uma vida útil limitada, apresentando falhas ao longo do tempo, aumentando assim a importância de intervenção para o aumento de sua capacidade resistente, antes de atingir o seu estado-limite.

Quando uma destas situações ocorre, temos que imediatamente reabilitar ou reforçar a estrutura, afim de que a funcionalidade ou segurança da edificação sejam garantidas.

A necessidade de reparar ou reforçar uma determinada estrutura, restaurando sua segurança e aumentando sua durabilidade, tem sido cada vez mais comum por uma série de razões: estruturas mais esbeltas, solicitações mais intensas, ambientes mais agressivos e consciência dos responsáveis pela construção de acordo com Helene (1988).

O reforço estrutural não deixa de ser uma reabilitação estrutural, onde ambos buscam a utilização segura para a estrutura existente, garantido o máximo de seu desempenho.

Existem vários métodos para reforçar uma estrutura, entre eles o mais utilizado e solicitado pelos projetistas que é o ecamizamento de viga, além deste temos, a implantação com perfis metálicos a colagem com chapas metálicas e a mais atual com fibra de carbono de acordo com Machado (2002).

Este trabalho tem como objetivo documentar um reforço em compósito de fibra de carbono em uma estrutura de concreto armado. Inicia-se o estudo com uma revisão bibliográfica sobre a metodologia de reforço estrutural com fibra de carbono, abordando os materiais e procedimentos das referências. Posteriormente o estudo de caso foi apresentado por meio da descrição do local do reforço, dos materiais envolvidos, da descrição do processo executado.

Reforço estrutural

A NBR 6118 (ABNT,2004) é bem esclarecida quanto comenta que as estruturas de concreto devem ser bem projetadas, cuidando da sua segurança, estabilidade e aptidão de serviço e ainda nas condições ambientais a que é previsto sua vida útil. Neste período, desde que sejam atendidos requisitos de uso e manutenção, a estrutura deve-se manter suas características.

Sendo assim, faz-se presente o reforço estrutural, quando existe a necessidade de aumentar a capacidade de carga prevista inicialmente (VALENZUELA, 2010).

De acordo com Reis (2001), reparo, recuperação e reabilitação são distintos. O reparo é a correção localizada de um problema patológico, já a reabilitação é a correção deste problema com caráter de readequação da utilização de toda a estrutura e a reabilitação envolve reparos simples e também o reforço. O reforço pode ser definido como o aumento da capacidade suportada por peça estrutural, tanto para lajes, quanto vigas, pilares ou qualquer outro elemento estrutural (FERRARI, 2002).

Nos últimos anos, um dos setores que mais cresce na engenharia é o reparo, a reabilitação e o reforço estrutural, pois há uma preocupação cada vez maior com a durabilidade das construções, fazendo com que essa área evoluísse rapidamente (NAKAMURA,2009).

Segundo Machado (2002), existem vários motivos para essa ocorrência, dentre eles:



- Projeto inadequado ou método construtivo incorreto;
- Erro humano em uma ou várias fases do projeto ou execução;
- Falta de manutenção na edificação, ou mesmo a utilização incorreta ou envelhecimento;
- Aumento das exigências de segurança;
- Agressividade do meio onde está a edificação, o que pode comprometer o correto desempenho dos materiais utilizados com o passar do tempo;
- Ocorrência de acidentes de causa humana (explosões, choques, incêndios, entre outros) ou naturais;
- Aumento das cargas destinadas à estrutura, tanto por sobrecarga quanto por mudança de utilização da construção.

De acordo com Machado (2002) de todos esses motivos citados, a última ocorre mais frequentemente até mesmo antes de a construção do edifício estar finalizada por mudança de interesse do idealizador da obra.

Grandes partes destas causas geram manifestações patológicas na estrutura.

Machado (2002) afirma que as deficiências de execução e do projeto somam mais de 50% das principais origens dos problemas patológicos em uma estrutura. Deste modo, as manifestações patológicas e a estrutura original devem ser bem estudadas para aplicação da melhor forma de reforço.

Lima (2009) destaca que a forma utilizada para reforço estrutural deve ser facilmente distinguível da estrutura original. Isso porque facilita o processo de manutenção e inspeção, evitando a adulteração de materiais antigos e impedindo a reversibilidade do processo.

Se tratando do reforço de uma estrutura, ele se diferencia do cálculo de uma estrutura nova, pois há necessidade de análise do comportamento da estrutura antiga ao longo do tempo, estudo de sua deformação e chance de colapso. Soma-se isto, o fato de não existir nenhum software capaz de calcular um reforço estrutural, diferente do cálculo de estruturas novas (NAKAMURA, 2009).

Machado (2002) nos afirma que no caso de reabilitação estrutural deve-se, sobretudo, definir as condições de utilização e destinação da edificação, bem como se deve definir os carregamentos limites. Isto evitará que ocorra uma solicitação indevida e que se excedam as tensões e as deformações admissíveis.

Reforço com Fibra de Carbono

As fibras de carbono começaram a ser comercializadas na década de 1960, após várias pesquisas realizadas e desenvolvidas nos Estados Unidos, Inglaterra e Japão (EMMONSET al., 1998).

De acordo com Machado 2004, as indústrias aeroespacial e automobilística, utilizaram muito este material durante anos, hoje em dia vem sendo requisitado frequentemente em elementos estruturais. A ideia de reforçar estruturas de concreto armado com CFC surgiu no início dos anos 80 no Japão. Com os frequentes abalos sísmicos na região da Ásia, causando diversos danos às estruturas, mostraram a necessidade de recuperação e reforço em curto intervalo de tempo. Esses foram os aspectos considerados para utilização desse material no confinamento de pilares.

Desde 1982 o Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) desenvolve pesquisas utilizando os compósitos de fibra de carbono para reforçar vigas de concreto armado (MEIER, 1995).

Segundo Beber (2003), a primeira aplicação de CFC no Brasil para reforço estrutural, ocorreu em 1998 no viaduto Santa Tereza localizado em Belo Horizonte. O principal motivo pela escolha do CFC foram os aspectos estéticos, pois se trata de uma estrutura tombada pelo patrimônio histórico.

Estudo de Caso

Este trabalho foi elaborado em uma construção de um condomínio residencial, de uma empresa multinacional, localizada no município do Rio de Janeiro. Próximo ao ano de 2010 foi comprado um terreno para a construção de um condomínio residencial, onde neste mesmo terreno havia uma antiga fábrica de vidro, após vários estudos, a construtora optou em aproveitar parte da estrutura desta fábrica para implantar uma área de lazer e aproveitar seu subsolo para disponibilizar um estacionamento.

A estrutura da fábrica de vidro se aproximava dos seus vinte anos e iria sofrer uma nova sobrecarga, assim sendo contratado um consultor, para analisar a necessidade de um reforço estrutural. Como já citado no capítulo 2.2 deste trabalho, se uma estrutura receber uma capacidade de sobrecarga maior que sua capacidade suportada, a mesma irá necessitar de um reforço estrutural para suportar tal esforço. A análise do consultor abrangeu a área dessa fábrica de aproximadamente 19670m², onde estrutura existente foi projetada com concreto armado, em resistência característica aproximada com F_{ck} de 15 Mpa conforme ensaios realizados e com investigações para o conhecimento das armaduras das vigas e lajes, ressaltando que essa estrutura tem um pavimento de subsolo, teto do subsolo e na mesma irá ser implementada, edículas e uma piscina, totalizando três níveis estruturais, mais a fundação, como mostra a Figura 01.

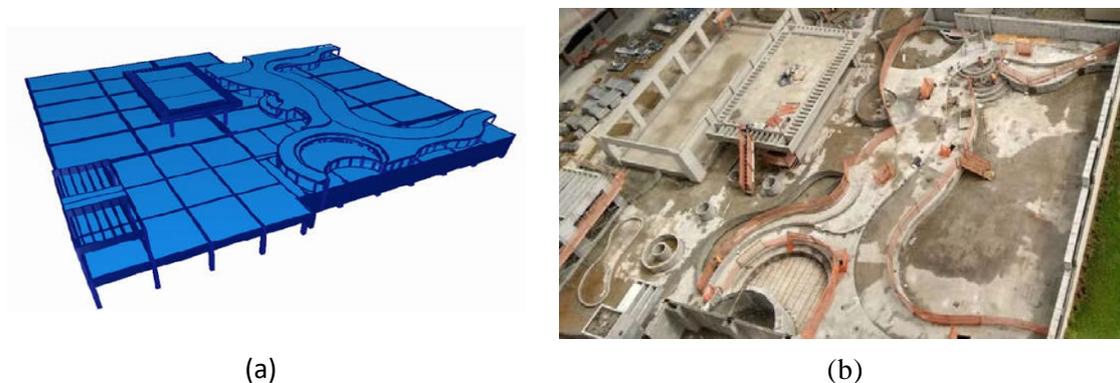


Figura 01 – Projeto da Nova Estrutura
(a) Modelagem para o estudo estrutural – (b) Imagem da estrutura antes do reforço

Fonte: o Autor

O consultor contratado pela engenharia solicitou e realizou análises na estrutura existente para verificar o local e quais tipos de reforço iriam necessitar para a reforçar a mesma. Foi realizada análise da estrutura existente através de solicitações para analisar as ferragens que compunham as vigas da fábrica.

Procedimento Executivo

Com base na revisão bibliográfica e nos trabalhos dos técnicos de apoio, descreve-se neste tópico as etapas do procedimento executivo do estudo de caso.

A – PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Deverá ser realizada a preparação de superfície para atender as condições mínimas de colagem. A superfície deve apresentar característica plana. Irregularidades superficiais expressivas devem ser devidamente corridas antes da aplicação da fibra, por meio de remoção ou preenchimento com argamassa epoxídica bi componente. Todos os vértices vivos e arestas dos elementos estruturais e serem reforçados deverão ser desbastados, tornando-os arredondados com um raio mínimo de 25mm. A superfície de aplicação deve estar sã, limpa e livre de quaisquer partículas soltas, como poeiras, óleos, nata de cimento e outros agentes ou substâncias contaminantes.

B - APLICAÇÃO DE MASSA EPÓXI PARA REGULARIZAÇÃO DA SUPERFÍCIE

Após a mistura da massa expoxi, o produto deve ser aplicado na superfície a ser aplicada a lâmina de fibra de carbono. Após a secagem deve ser verificada a planicidade da superfície que não pode sofrer ondulação de 4 mm em 30 cm de comprimento e 10 mm em comprimento de 2m. Deve ser respeitado o tempo mínimo de espera de 90 minutos e de máximo 48 horas desde a aplicação da Massa de Regularização na superfície para colocar a lamina de fibra de carbono com adesivo epóxi.

C - APLICAÇÃO DE LAMINADO FIBRA DE CARBONO COM ADESIVO EPÓXI

Antes do início dos trabalhos, será verificado o estado da superfície sobre a qual se aplicará a lamina para identificar se a superfície se encontra limpa, firme e devidamente acabada. Após a mistura do Primer e da Resina de Laminação misturada e dosada, a mistura deverá ser realizada com auxílio de misturador elétrico por aproximadamente 3 minutos, para que haja a homogeneização total do produto. A aplicação do primer é demonstrada na Figura 02.

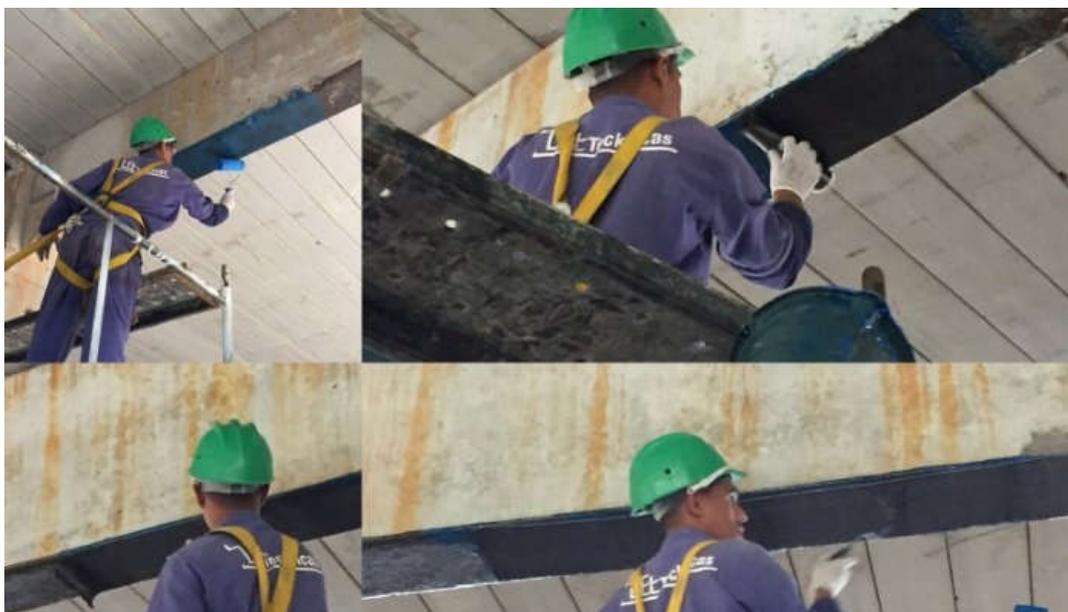


Figura 02 - Aplicação do Primer

Fonte: o Autor

Após a aplicação do ADESIVO EPOXI na lamina de fibra de carbono, esta, deve ser colocada na superfície (que deve estar devidamente tratada), não ultrapassando 5 minutos

após a retirada do carrinho dosador. Caso se ultrapasse o tempo máximo de aplicação, será aplicado nova camada de material.

Após a aplicação da lamina, esta imediatamente deve ser pressionada sobre a superfície, garantindo a sua fixação. Este procedimento é visto na Figura 03.



Figura 03 – Colocação da fibra de carbono

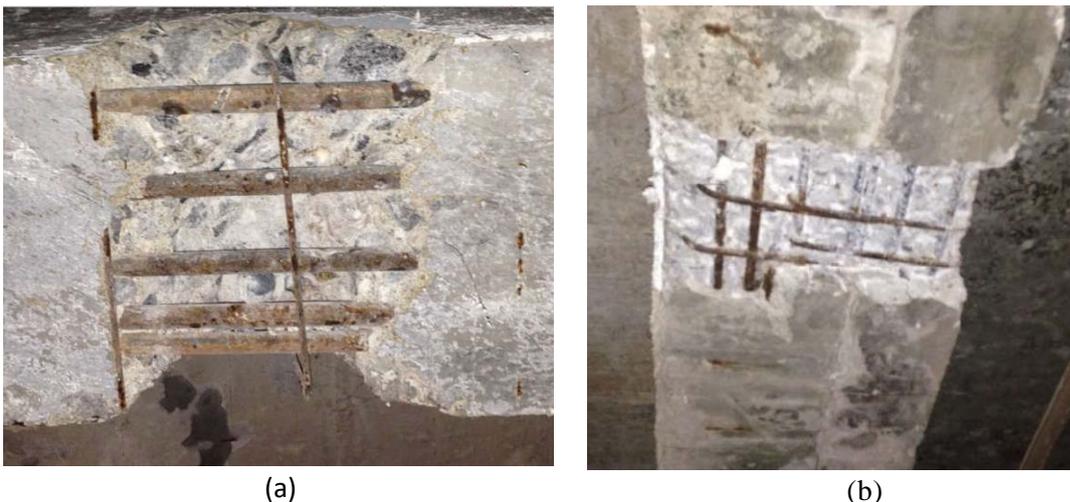
Fonte: o Autor

A seguir, é retirado o excesso de resina e a face da lamina é limpa com álcool a fim de eliminar as impurezas que impeçam a aderência da próxima lamina a ser aplicada (quando for o caso).

Em caso de detecção de zonas com falha de aderência em laminados, deverão reparar-se por Injeção do ADESIVO EPOXI ou caso necessário retirar e repetir-se o processo de aplicação.

Análise do reforço

De acordo com o estudo realizado por Machado (2002) e Perelles (2013), para garantir o bom desempenho do reforço em fibra de carbono é de grande importância que a estrutura esteja preparada e regularizada. Entretanto a superfície que iria ser aplicada as fibras, obtinha barras de aço afetadas pelo efeito corrosivo e concreto degradados, assim tornando-se necessário a recuperação desta estrutura, antes da aplicação do reforço. Sendo assim foi utilizado, hidro jatos e esmerilhadeira, com movimentos circulares, como cita Ferrari et. al. (2002), para realizar a limpeza da superfície, com remoção de toda poeira e substancias ali existente e também a retirada de partículas solidas, rebarbas, pinturas ou quaisquer nichos ou imperfeições superficiais. Os detalhes das peças podem ser vistos na Figura 04 abaixo.



(a) (b)
Figura 04 – Detalhes das peças a serem reforçadas
(a) Viga 01 a ser reforçada – (b) Viga 02 a ser reforçada
Fonte: o Autor

Como foi utilizado o reforço em mais de uma superfície da peça, neste caso em uma viga, foi necessário utilizar a esmerilhadeira para arredondar cantos “vivos”. Pois como nos atenta Machado (2002), se a estrutura obtiver estes “cantos vivos”, pode ocorrer vazios entre o concreto e o reforço, assim reprimindo a concentração de tensões.

Após tratar toda a superfície como solicitou o procedimento executivo, foi iniciado o processo de aplicação do imprimador e regularizador da superfície. Como cita Machado (2011), o imprimador tem como objetivo fazer a ponte de aderência entre a fibra de carbono e a estrutura que necessita do reforço. Já as massas regularizadoras, fazem a calafetação e garantem a uniformidade da estrutura, ou seja, quanto mais irregular, mais massas regularizadoras serão utilizadas no local da aplicação. Por conta de ser uma estrutura antiga, utilizou-se bastante essa massa para regularizar os panos de lajes.

Na obra, a empresa que aplicou a fibra de carbono, utilizou de bancadas, réguas e estiletes, assim cortando as tiras de fibras, solicitados pelo consultor. Após este procedimento, foi feita a imprimação da fibra de carbono. Machado (2011), ressalta que a fibra deve ser colocada logo após a aplicação deste imprimador.

Para este processo, foram utilizadas espátulas pressionadas em toda a tira da fibra, para evitar, como cita Machado (2002), a formação de bolhas de ar entre o reforço e a peça original.

Ao fim da aplicação do reforço em todos os panos de lajes e vigas solicitadas, obtendo sucesso, tanto pela velocidade da execução do serviço, tanto pela estética, por não haver grandes alterações no visual das estruturas envolvidas e claro por atender o combate aos esforços solicitados ao consultor, após testes de cargas realizados no local.

Após todos os testes e relatórios concluídos, foi enviado ao setor técnico da construtora o laudo positivando e garantido o reforço estrutural. Então se obteve o retorno com as devidas aprovações e uma observação na execução do reforço. Onde não se foi visto a solicitação pelo procedimento executivo e muito menos pelos consultores, que deveria se utilizar uma substância protetora contra as altas temperaturas, onde para caso haja algum incêndio, por exemplo, a integridade da fibra não seja alterada. Sendo assim, em nova consulta ao calculista, se foi realizada a aplicação de “Vermiculita”, que como informado pela NBR 9230/196 (ABNT,1986) este material é constituído de granulado, leve, poroso, com baixa umidade, que proporciona isolamento térmico e acústico, além de elevada

absorção e retenção de água e capacidade de troca catiônica. Produto inerte e atóxico, a cor pode variar entre branco e marrom avermelhado e é um mineral micáceo composto por alumino silicatos hidratados de magnésio e ferro, que ao ser submetido a temperaturas entre 650 e 1050°C expande e aumenta o seu volume em 10 vezes, por vezes apresentando-se com forma similar a vermes.



Figura 05 – Peças já reforçadas
(a) Viga 01 a ser reforçada – (b) Viga 02 a ser reforçada
Fonte: o Autor

Após a aplicação da vermiculita, finalizou-se todo o reforço na estrutura, como o solicitado, atingindo o custo e o prazo concebido, mesmo com o imprevisto da proteção na fibra de carbono, o resultado atingiu o objetivo proposto.

Considerações finais

Conforme visto em estruturas de concreto armado, algumas apresentam algum tipo de degradação antes de cumprir sua vida útil, ou por falhas de projeto, ou por má execução, ou por ser submetidas a novas cargas. Este trabalho apresentou os motivos pelos quais uma estrutura de concreto armado precisou receber o reforço estrutural e o procedimento construtivo.

A reabilitação destas estruturas impacta a cada dia mais a construção civil, onde os reparos e reforços aumentam gradativamente. Há algumas metodologias de reforços para reabilitar essas estruturas, mas a fibra de carbono se mostra uma alternativa viável no mercado atual, tanto pela sua elevada resistência, pela sua rápida execução ou até mesmo pela parte estética do local de aplicação do reforço.

Entende-se que foi estabelecido um cenário, baseado no processo de produção e custo da construção civil, a fim de a partir de um estudo de caso e contribuições de pesquisadores, obteve-se uma visão da recuperação de estruturas de concreto armado, analisando suas vantagens, desvantagens e processo.

O trabalho permitiu esclarecer como as empresas estão realizando este tipo de reforço, tornando-o viável técnica e financeiramente. O reforço estrutural em fibra de carbono se mostrou como a técnica acessível e eficaz para estruturas de concreto armado caso seja executado dentro do procedimento orientado por um especialista, respeitando as recomendações técnicas dos produtos utilizados.

Bibliografia

- (1) HELENE, P. R. L. **Introdução a Prevenção da Corrosão das Armaduras no Projeto das Estruturas de Concreto** – Avanços e Recuos. Simpósio sobre Durabilidade do Concreto. São Paulo, 1998. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- (2) MACHADO, A. de P. **Reforço estrutural com base em lâminas e barras de fibra de carbono**. Apresentação ÀBECE, São Paulo, 2002
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. –**NBR 6118**: projeto de estruturas de concreto – procedimento. 2014
- (4) VALENZUELA SAAVEDRA, M. A. *Refuerzo de puentes existentes por cambio de esquema estático*, Barcelona, UPC, 2010.
- (5) REIS, L. S. N. **Sobre a recuperação e reforço de estruturas de concreto armado**. 114 p. Tese (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2001.
- (6) SANTOS, Roberto Esustáquio dos. **A cultura do concreto armado no Brasil: educação e deseducação dos produtores do espaço construído**. In: Anais do IV Congresso Brasileiro de História da Educação Goiânia: Universidade Católica de Goiânia, 2006.
- (7) NAKAMURA, J... **Reparo, Reforço e Recuperação de Concreto**. Téchné, São Paulo, 2009. Disponível, em:
<http://techne.pini.com.br/Index.aspx?aspxerrorpath=/engenhariacivil/146/concretoreparo-reforco-e-recuperacao-de-concreto-285462-1.aspx%3E.%20Acesso%20em%2009/03/2014>. Acesso em 10/03/2017
- (8) LIMA, N. dos S. **Uso de estruturas em reforço estrutural de vigas de madeira**. Artigo Científico. – Departamento de Construção Civil e transportes, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro 2009
- (9) MACHADO, A. de P. **Manual das estruturas de concreto armado com fibra de carbono**. 120p. 2011.