

MODOS DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO DE VIGAS PARA EXECUÇÃO DE REFORÇO À FLEXÃO COM FIBRAS DE CARBONO

Vladimir José Ferrari¹
Ivo José Padaratz²

RESUMO: A colagem de polímeros reforçados com fibras de carbono (denominados na literatura internacional por *carbon fiber reinforced polymer*) em vigas de concreto armado tem sido satisfatoriamente utilizada para aumento da capacidade resistente à flexão e ao cisalhamento desses elementos. Incrementos na resistência à flexão desde 10 a 160% já estão documentados. Entretanto, para evitar a ocorrência de problemas indesejáveis, como o descolamento prematuro do reforço (ponto de receio por parte de alguns projetistas, pois antecipa a ruína da viga reforçada), e garantir o sucesso da técnica, deve-se dar especial atenção à aderência do sistema de reforço ao substrato de concreto. A aderência externa do reforço com fibras de carbono ao substrato de concreto é que permite a transferência de tensões entre o concreto e o reforço. Para isso, a superfície de concreto deve ser preparada adequadamente. Alguns pesquisadores comentam que a preparação da superfície pode influenciar na resistência da aderência do reforço ao substrato de concreto. Diante disso, o presente trabalho tem por objetivo relatar os procedimentos recomendados, em bibliografias existentes, para preparação da superfície de concreto e também apresentar os procedimentos executados no trabalho de mestrado do presente autor e em algumas pesquisas realizadas sobre o assunto. Assim, pretende-se agrupar informações técnicas e procedimentos que servirão como referência para o desenvolvimento de futuras pesquisas sobre o assunto.

PALAVRAS-CHAVE: aderência, substrato, vigas, fibra de carbono

WAYS IN THE PREPARATION OF BEAMS CONCRETE SURFACE FOR THE EXECUTION OF REINFORCEMENT AGAINST FLEXION WITH CARBON FIBERS

ABSTRACT: The adhesion of carbon fiber reinforced polymer to armored concrete beams has been satisfactorily used for increasing these elements resistance to flexion and shearing. Increments in the resistance to flexion from 10% to 160% have already been documented. However, to avoid the occurrence of undesirable problems, such as the reinforcement early displacement (point of concern of some designers, as it anticipates the ruin of reinforced beams), and guarantee the technique's success, special attention must be paid to the reinforcement system's adherence to the concrete substrate. The external adherence of the reinforcement with carbon fibers to the concrete substrate is what permits the transference of tensions between the concrete and the reinforcement. To do so, the concrete surface must be prepared adequately. Some researchers state that the surface's preparation can influence in the reinforcement adherence resistance to the concrete substrate. Therefore, this work has had the objective of reporting the recommended procedures, in the existing literature, for concrete surface preparation, and also to show the procedures carried out in the author's Master Degree work as well as by some others researches. Thus, it has been intended to gather technical information and procedures that can be used as reference for the development of future researches on the subject.

KEYWORDS: Adherence; substrate; beams; carbon fiber.

1 - INTRODUÇÃO

A evolução na tecnologia de novos materiais tornou

possível substituir as chapas de aço utilizadas no reforço de estruturas de concreto, por materiais mais leves, resistentes, duráveis e de fácil aplicação em obras de reabilitação

¹ Professor do Curso de Engenharia Agrícola do Universidade Estadual de Maringá (Câmpus de Cidade Gaúcha)

² Docente do departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina

estrutural, conhecidos em português por polímeros (plásticos) reforçados com fibras de carbono (Ferrari, 2002). Esses materiais podem alcançar comportamento estrutural semelhante ou até mesmo superior aos produtos metálicos geralmente utilizados no reforço de elementos estruturais em concreto armado, como as barras de aço, cabos de aço protendidos e chapas de aço coladas (ACI 440R, 1996).

Entre as razões que mais justificam a utilização desses materiais nesse tipo de aplicação estão as vantagens econômicas resultantes da redução da mão de obra e dos gastos decorrentes dos tempos de paralisação. Esta redução nos custos tem mais peso que outros fatores, tais como o custo dos materiais e a durabilidade a longo prazo.

A aplicação da técnica de colagem de polímeros reforçados com fibras de carbono consiste atualmente numa realidade aceita na indústria da construção civil, ampliando de forma excepcional o horizonte do reforço em estruturas de concreto armado.

As várias pesquisas realizadas sobre a técnica de colagem de reforço externo com fibras de carbono têm salientado a sua simplicidade e facilidade de execução em vigas de concreto armado, destacando-se como uma das técnicas de reforço mais econômica do que as tradicionais, quando se refere ao método de aplicação. A técnica engloba procedimentos que proporcionam facilidade de controle de qualidade e segurança, além de não exigirem custos exagerados com o equipamento e com a mão-de-obra especializada.

Se, por um lado, a facilidade e rapidez de aplicação do reforço com fibras de carbono têm tornado o sistema atrativo, por outro, a técnica de reforço tem esbarrado em sua própria simplicidade, pois em várias situações tem-se percebido o descolamento prematuro do reforço, conseqüência de falhas na etapa de preparação e colagem, ou até mesmo pela utilização de técnicas e equipamentos inapropriados para preparação da superfície de concreto.

1.1 Principais formas de polímeros reforçados com fibras de carbono

Segundo Ferrari (2002), as principais formas comercializadas do sistema de reforço com fibras de carbono para aplicações através da colagem em vigas de concreto por meio de um adesivo são as seguintes:

- Laminados pultrudados de polímeros reforçados com fibras de carbono.

São fabricados com espessura da ordem do milímetro e em larguras padrões, como representado na Figura 1 ao lado. Segundo o ACI 440-R (1996), os laminados pultrudados são as formas mais comuns de compósitos

reforçados com fibras usados em aplicações estruturais. São resultados da impregnação de um conjunto de feixes ou camadas contínuas, de fibras previamente alinhadas e esticadas, por uma resina, consolidadas por um processo de pultrusão com controle da espessura e largura. Podem ser fabricados em chapas ou tiras.

Os laminados pultrudados são elementos pré-fabricados bastante utilizados para reforços à flexão em vigas e lajes, e são aplicados diretamente pela colagem à superfície de concreto com adesivo.

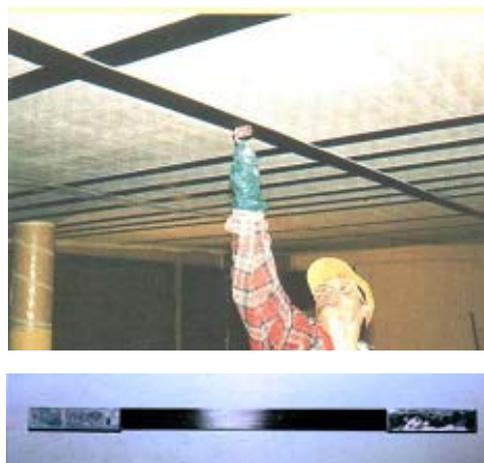


Figura 1: Aplicação do laminado (acima) e detalhe do laminado (abaixo) (Catálogo Sika)

- Laminados de folhas e mantas flexíveis unidirecionais.

As mantas unidirecionais (Figura 2) são constituídas pela disposição de feixes de fibras de carbono paralelas e agrupadas de forma contínua sobre uma tela impregnada com mínimas quantidades de resina epóxi. A sua espessura é de décimos de milímetro e o compósito é formado após a execução do reforço, ou seja, polimerizado ou endurecido "in situ". As folhas e mantas flexíveis são utilizadas para o reforço de vigas, lajes e em confinamento de pilares.



Figura 2: Manta de fibra de carbono

- Laminados de tecidos fabricados "in situ".

O sistema de PRFC em forma de tecido diferencia-se das folhas e mantas unidirecionais pelo agrupamento das fibras no plano, podendo ser caracterizados por um entrelaçamento direcionado de faixas de fibras

bidirecionais, por um espalhamento aleatório das fibras ou por fios contínuos de fibras de carbono unidirecionais, bidirecionais ou multidirecionais. Os tecidos, por possuírem fibras em duas ou mais direções, adquirem espessura média da ordem de 0,5 mm.

A Tabela 1 apresenta um resumo comparativo entre as formas comercializadas de polímeros reforçados com fibras de carbono.

Tabela 1: Comparação das características entre as formas comercializadas de PRFC (Ripper, 1998)

Parâmetro	Laminados pré-fabricados	Mantas	Tecidos
Quantidade de fibras (kg/m ²)	0,2 a 0,4	0,2 a 0,4	0,3 a 0,5
Espessura de cálculo (mm)	1 a 1,4	0,11 a 0,23	0,27 a 0,45
Espessura do PRFC (mm)	1 a 1,4	0,35 a 0,65	0,9 a 1,6
Proporção de fibras no polímero (%)	65 a 75	25 a 40	20 a 35

Segundo o ACI 440 (2000), cada sistema de reforço possui equipamentos específicos para a sua aplicação, porém são geralmente simples de serem manuseados. Rolos, espátulas, estiletes, aparelhos medidores de espessura de resina, equipamentos elétricos de mistura de resina, ferramentas de posicionamento e aparelhos de desenrolar mantas são alguns dos materiais geralmente utilizados.

O ACI também recomenda que não se aplique o reforço a um elemento de concreto em que haja suspeita de que as armaduras internas tenham sido atacadas por corrosão, pois as forças expansivas associadas a esse fenômeno podem comprometer a integridade estrutural do sistema. Tanto as barras de aço como o concreto, comprometidos com os efeitos da corrosão, devem ser reparados previamente à aplicação do reforço. Com relação a fissuras na superfície de concreto, o ACI relata que a performance do sistema de reforço pode ser afetada com a presença de fissuras de aberturas maiores que 0,3mm. Nesses casos, as fissuras devem ser tratadas através da injeção pressurizada de resina epóxi.

1.2-Preparação da superfície de concreto para aplicação do reforço com fibras de carbono

Segundo Juvandes (1999), a metodologia de aplicação do reforço com fibras de carbono à superfície de um elemento estrutural de concreto compreende de modo geral duas fases: a preparação da superfície de concreto (primeira fase) e a colagem das fibras ao elemento (segunda fase, não discutida neste trabalho).

A preparação da superfície de concreto é um processo através do qual se obtém um substrato limpo, sólido

e convenientemente rugoso. Isso inclui lavagem com detergentes, limpeza por pressão de água, solução ácida, esmerilhamento, jato de areia, escarificação, desbastamento e fresagem. Tem cada um desses métodos suas vantagens e desvantagens em termos de eficiência de limpeza, remoção de materiais soltos e rugosidade da superfície (ICRI, 1997). A superfície de concreto deve ser preparada de acordo com o sistema de reforço a ser aplicado (Mbrace, 1998).

Para os reforços executados com chapas de aço, argamassa de alto desempenho ou concreto convencional, existe a necessidade do apicoamento da superfície de concreto. Esse procedimento consiste na retirada, com auxílio de equipamentos como ponteiras ou martelões da camada superficial de nata de cimento e a conseqüente exposição dos agregados. Ainda, após esse procedimento, a superfície passará a apresentar irregularidades, cujo efeito é bastante positivo, pois melhora a aderência entre o reforço e o concreto. Por outro lado, a preparação da superfície de concreto que receberá o reforço com mantas de fibra de carbono distingue-se exatamente no aspecto regularidade da superfície. A camada de nata de cimento, deteriorada ou frágil, deve, também, ser removida e os agregados expostos. No entanto, esse procedimento deve ser realizado utilizando-se um equipamento que permita que a superfície seja mantida o mais regular possível (Beber, 1999).

No geral, a preparação da superfície de concreto consiste na retirada da camada frágil de nata de cimento até expor os agregados, conforme mostra a Figura 3.



Figura 3: Detalhe dos agregados expostos após a preparação da superfície de concreto – à esquerda Ferrari (2002) e à direita Beber (1999)

Segundo o ACI 440 (2000), em um reforço de colagem crítica (aplicações onde o fator preponderante para o sucesso do reforço é uma eficiente colagem entre o sistema e o concreto – reforço em lajes, vigas, alvenarias) a preparação da superfície deve ser feita utilizando-se abrasivos ou técnicas de jateamento de água. Todo tipo de poeira, sujeira, óleo, camadas de material protetor (tintas e argamassas) deve ser removido. Os pequenos vazios na superfície devem ser completamente expostos durante o tratamento inicial da superfície. Problemas de nivelamento podem ser resolvidos com a raspagem da superfície ou então, se as variações forem muito pequenas, podem ser suavizadas, utilizando-se uma massa niveladora. Os cantos de seções transversais retangulares devem ser arredondados em um raio mínimo de 13 milímetros, para que se previna uma concentração de tensões neste local e o aparecimento de vazios entre o sistema de reforço e o concreto, prejudicando a colagem.

Ainda, segundo o ACI 440 (2000), para o caso de um reforço de contato crítico (aplicações realizadas através do confinamento do elemento estrutural), os elementos de concreto, que serão envolvidos com material de reforço, devem estar com as suas superfícies niveladas e seus cantos arredondados. Os grandes vazios do substrato, se existirem, devem ser preenchidos com material de resistência compatível à do concreto existente.

Na preparação da superfície de concreto, para atender a condição crítica de colagem, Machado (2002) prescreve a utilização de abrasivos ou jatos de água, areia ou limalha metálicas para a limpeza da superfície, onde será colado o sistema de reforço.

A utilização de técnicas abrasivas para preparação da superfície de concreto, como, por exemplo, jatos abrasivos, esmerilhamento, jato de água, é também salientado no manual da Mbrace (1998). Segundo o manual, também podem ser utilizados outros métodos apropriados, com o objetivo de abrir os poros da estrutura de concreto.

Pesquisas têm indicado que a resistência da aderência entre o adesivo epóxi e o concreto depende de um número de fatores incluindo as propriedades do epóxi como também as propriedades do substrato de concreto. A resistência do epóxi é afetada por como ele é armazenado, manipulado, aplicado e curado. Já a resistência da ligação epóxi-concreto é afetada pela resistência, rugosidade e grau de limpeza da superfície de concreto preparada (Miller and Nanni, 1999).

2 - MODOS DE PREPARAÇÃO DA SUPERFÍCIE DE CONCRETO

2.1 - Dissertação de mestrado de Ferrari (2002)

O autor do presente trabalho, em sua dissertação de mestrado, desenvolveu um programa experimental no Laboratório de Experimentação em Estruturas da Universidade Federal de Santa Catarina, com o objetivo de estudar o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas externamente à flexão mediante a colagem de manta de fibras de carbono. Nesse programa, o tratamento da superfície de concreto das vigas para colagem da manta foi realizado através de um disco de lixa grossa para superfícies de concreto, acoplado a uma esmerilhadeira conforme mostra a Figura 4. Através de movimentos circulares com a esmerilhadeira, conseguiu-se retirar toda a camada frágil de nata de cimento existente na superfície de concreto até a parcial exposição dos agregados, como mostrado na Figura 3. Esse método permitiu a obtenção de um substrato regular e liso contendo a abertura de pequenos poros e exposição parcial dos agregados graúdos, favorável à aderência da manta.



Figura 4: Preparação da superfície de concreto com disco de lixa grossa, acoplado à esmerilhadeira.

Como uma das conclusões do programa experimental, o autor frisou a eficiência do método utilizado para preparação da superfície de concreto, comprovada através de significativos incrementos nas cargas de ruptura por flexão das vigas reforçadas.

2.2 - Dissertação de mestrado de Silva (2001)

No Laboratório de Estruturas da Faculdade de Engenharia Civil da Unicamp, Silva desenvolveu um estudo experimental visando avaliar a eficiência do uso da manta de fibra de carbono para o reforço à flexão de vigas de concreto armado de elevada resistência (em torno de 90MPa). Para aplicação da manta de reforço nas vigas, o autor não utilizou nenhum tipo de método para preparação da superfície de concreto e concluiu que a colagem da manta de fibra de carbono a um

concreto de resistência convencional ocorre de maneira bem mais eficiente do que se comparada com a colagem a um concreto de elevada resistência. Isso porque a porosidade do concreto convencional é maior, sendo muito difícil ocorrer o acúmulo de resina, como ilustrado na Figura 5.

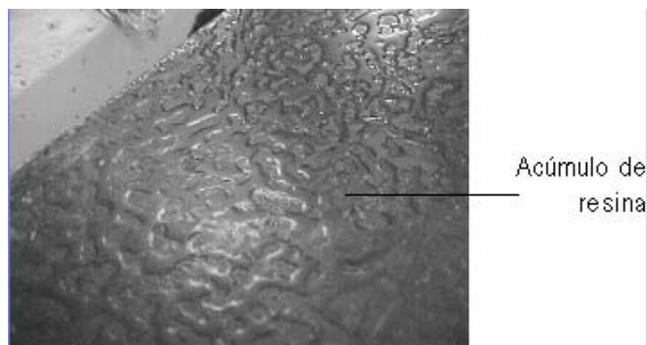


Figura 5: Detalhe do acúmulo de resina no substrato da viga de elevada resistência

Silva explica que devido à baixa porosidade do concreto, consequência da elevada resistência à compressão, a resina de colagem da manta penetrou muito pouco por entre os poros do concreto, causando acúmulo de resina sobre a superfície, prejudicando a colagem do reforço.

2.3 - Dissertação de mestrado de Dias (2000)

Dias realizou seu trabalho de mestrado em vigas de concreto armado reforçadas com sistemas compósitos no Laboratório de Estruturas da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP). Nesse trabalho, para tratamento da superfície de concreto antes da colagem da manta de reforço foi utilizado esmerilhadeira e, em seguida, aplicado jato de ar para eliminação da poeira acumulada. Já para o tratamento da superfície de concreto antes da colagem do laminado pultrudado recorreu-se à utilização de um martelo de agulhas e ao jato de ar.

O autor comprovou a eficiência dos modos de preparação da superfície de concreto após a realização dos ensaios nas vigas reforçadas.

2.4 - Dissertação de mestrado de Fortes (2000)

Fortes desenvolveu na Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) um trabalho experimental em vigas de concreto armado reforçadas à flexão com laminados pultrudados de fibras de carbono. Nesse trabalho, o tratamento dado pelo autor na superfície inferior das vigas de concreto armado para retirada da camada superficial de nata de cimento foi realizado utilizando-se cuidadosamente golpes de talhadeira e marreta.

Nos ensaios realizados, o autor observou a ocorrência de desprendimento das lâminas de fibra de carbono coladas na superfície de concreto e, atribuiu este modo de ruína à presença de esforços de tração perpendiculares ao reforço, devido a grandes deslocamentos relativos entre faces adjacentes de fissuras. Mesmo assim, as vigas reforçadas apresentaram valores em torno de 50% maiores para a carga de ruína. O autor também salientou a importância do reforço ser executado por pessoal experiente e qualificado, que tome os devidos cuidados na preparação do substrato de concreto.

2.5 - Dissertação de mestrado de Beber (1999)

Beber em sua pesquisa de mestrado, aplicou um reforço à flexão com manta de fibra de carbono na superfície tracionada de vigas de concreto armado. Para isso, toda a camada de nata de cimento da superfície foi retirada até a completa exposição dos agregados. Para a execução deste procedimento, o autor optou pelo desgaste da superfície através da utilização de uma esmerilhadeira equipada com um disco diamantado, conforme mostra Figura 6.



Figura 6: Preparação da superfície de concreto com esmerilhadeira para colagem da manta

Nos ensaios que se sucederam, o autor verificou que houve um aumento significativo nas cargas de rupturas das vigas reforçadas. Entretanto, esse aumento tende a um limite, pois está associado à carga de ruptura por desprendimento do reforço. Também relatou que este desprendimento é um modo de ruína associado à alta concentração de tensões de cisalhamento nas seções próximas aos apoios, não atribuindo tal fato ao modo como foi preparada a superfície de concreto.

2.6 - Trabalho experimental de Juvandes (1999)

Juvandes realizou um trabalho de tese de doutorado sobre reforço de estruturas de concreto com compósitos de fibra de carbono na Universidade do Porto. O autor utilizou três processos diferentes para preparação das superfícies das vigas de concreto armado, que seriam reforçadas com

laminado pultrudado de fibra de carbono. Em um primeiro grupo de vigas foi utilizado o apicoamento da superfície de concreto através da passagem de escova de aço. Já em um segundo grupo de vigas, foi utilizada a projeção de jato de areia e, em um último grupo de vigas, a decapagem com o martelo de agulhas foi utilizada para preparação da superfície de concreto.

Na preparação da superfície de faixas de lajes que seriam reforçadas com manta flexível, o autor utilizou um polimento com auxílio de um esmeril, seguido da projeção de jato de ar, procurando-se obter uma superfície lisa e com a exposição dos agregados.

O autor concluiu que o grau de rugosidade do substrato de concreto desejado para o reforço com sistemas laminados é diferente do definido para os sistemas de mantas flexíveis curadas "in situ". Nos primeiros, recomenda-se a limpeza do concreto com a passagem de jato de areia ou de um martelo de agulhas e, nos segundos, o polimento com um esmeril e a projeção de um jato de ar, de modo a se obter uma superfície lisa com a exposição dos agregados. O autor salienta que, em qualquer um dos dois sistemas, deve-se corrigir as irregularidades pontuais da superfície do concreto, com o revestimento à espátula de uma argamassa de resina epoxídica, de modo a proporcionar a plena adesão da área do compósito ao concreto.

2.7 - Trabalho de Yoshizawa et al. (1996)

Um grupo de pesquisadores conduziu um estudo sobre o efeito do tipo de preparação da superfície de concreto na aderência de mantas de fibras de carbono (Yoshizawa et al., 1996). Os elementos usados nos ensaios foram prismas de concreto com mantas coladas em dois lados opostos. Os elementos foram submetidos a ensaios de tração. As superfícies de concreto foram preparadas por jatos de água ou jatos de areia. Como resultado, os pesquisadores concluíram que o jato de água dobrou a capacidade dos elementos, comparados ao jato de areia.

CONCLUSÃO

Diante dos autores e pesquisas consultadas, com relação à preparação da superfície de concreto para colagem externa de reforço com fibras de carbono, chega-se às seguintes conclusões:

- O modo de preparação da superfície de concreto para colagem de reforço externo deve ser feito de acordo com o sistema de reforço a ser aplicado.
- Para aplicação de laminados pultrudados é desejável que o substrato de concreto apresente uma certa irregularidade, que será favorável à aderência do

reforço ao concreto.

- Para aplicação de mantas flexíveis, o interessante é que o substrato apresente a forma mais regular possível, com total ou parcial exposição dos agregados e abertura de pequenos poros da superfície de concreto, favoráveis à aderência do reforço.
- Para o caso de laminados pultrudados, a superfície de concreto pode ser convenientemente preparada com utilização de talhadeira e marreta (procedimento pouco produtivo), jato de água, jato de areia e martelo de agulhas.
- Para o caso de mantas flexíveis, a superfície de concreto pode ser convenientemente preparada com utilização de disco diamantado ou disco de lixa grossa para concreto acoplados a uma esmerilhadeira. Jato de água também pode ser utilizado (mais eficiente do que jato de areia).
- Qualquer que seja o método utilizado para preparação da superfície, faz-se necessária a limpeza posterior das partículas soltas, para seqüência dos serviços de aplicação do reforço.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **Guide for the design and construction of externally bonded systems for strengthening concrete structures** – ACI 440, 2000.
- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **State-of-the-art report on fiber reinforced plastic reinforcement for concrete structures** – ACI 440R-96, Detroit, Michigan, EUA, 1996.
- BEBER, A. J. **Avaliação do desempenho de vigas de concreto armado reforçadas com lâminas de fibra de carbono**. Porto Alegre: CPGEC/UFRGS, 1999. 107p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia).
- DIAS, S. **Eficiência do reforço de estruturas de betão com materiais compósitos**. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Tese de mestrado, 2000.
- FERRARI, V. J. **Reforço à flexão em vigas de concreto armado com manta de fibra de carbono: mecanismos de incremento de ancoragem**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2002. 157p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil).
- FORTES, A. S. **Vigas de concreto armado reforçadas com fibras de carbono**. Florianópolis: PPGEC/UFSC, 2000. 181p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil)
- ICRI (International Concrete Repair Institute), 1997. **Selecting and specifying concrete surface preparation for sealers, coating, and polymers overlays**. Technical Guideline N° 03732, 41pp.
- JUVANDES, L.F.P. **Reforço e reabilitação de estruturas**

de betão usando materiais compósitos de “CFRP”.

Porto: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), 1999. 400p. Dissertação. (Doutorado em Engenharia Civil)

MACHADO, ARI DE PAULA. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono.** São Paulo. Pini, 2002.

MAERZ, N.; NANNI A.; MYERS, J.; GALECKI, G. **Laser Profilometry for Concrete Substrate Characterization Prior to FRP Laminate Application.** Submitted to the Bulletin of the International Concrete Repair Institute, Dec. 2000.

MBRACE. **Composite Strengthening System Engineering Design Guidelines.** Second Edition, (1998). Master Builders, Inc. And Structural Preservation Systems.

MILLER, B.; NANNI A., **Bond Between CFRP Sheets and Concrete.** Proceedings ASCE 5th Materials Congress, Cincinnati, Ohio, L.C. Bank Editor, pp. 240-247, 1999.

RIPPER, T. **Plásticos armados com fibras como solução para o reforço de estruturas.** (apostila). Belo Horizonte: outubro, 1998.

SIKAWRAP “**Composite fabrics for structural and seismic strengthening**” Catálogo de produtos Sika, Suécia.

SILVA, A. O. B. da. **Reforço à flexão em vigas de concreto de alta resistência à compressão através da colagem externa de mantas flexíveis de fibras de carbono (PRFC).** Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, 2001. 393p. Dissertação. (Mestrado em Engenharia Civil)

YOSHIZAWA, H.; MYOJO, T.; OKOSHI, M.; MIZUKOSHI, M.; KLIGER, H. S. **Effect of Sheet Bonding Condition on Concrete Members Having Externally Bonded Carbon Fiber Sheet.** Fourth Materials Engineering Conference, ASCE Annual Convention Washington D.C. 1996.