

# 1 Introdução

## 1.1. Generalidades

Atualmente tem-se um cuidado mais apurado quanto ao controle de qualidade das construções, pois há um entendimento de que a qualidade é rentável a curto e longo prazos. Sob o ponto de vista econômico evita-se gastos prematuros em reparação, e ocorre um aumento da vida útil das obras (Cánovaz, 1988).

Mesmo que sejam tomadas medidas preventivas para se evitar manifestações patológicas ao longo da vida útil das estruturas, diversos fatores podem levar à necessidade da recuperação estrutural, tais como: a degradação e o desgaste natural durante este período, o aumento das cargas solicitantes e a redistribuição de solicitações, os erros de projeto e execução, os acidentes ou sinistros como incêndios, choques, sismos, etc.

A recuperação ou reabilitação estrutural consiste em uma série de intervenções para aumento da capacidade resistente de elementos estruturais. Os seus objetivos são o restabelecimento das condições usuais de segurança, da funcionalidade, a alteração nas condições de uso e a ampliação ou reposição do período de vida útil.

A escolha da técnica e do material de reforço deve ser feita de maneira criteriosa, buscando-se a racionalização de custos, a facilidade de aplicação do reforço, a compatibilidade do material de reforço com o ambiente em que será instalado e o seu desempenho mecânico.

Os procedimentos necessários para instalação de reforço são:

1. diagnosticar o problema adotando-se medidas emergenciais quando necessário;
2. analisar a viabilidade de aplicação de reforço;
3. investigar o estado da estrutura com o auxílio de ensaios não destrutivos, considerando-se sua rigidez e redistribuição de cargas;
4. selecionar o material e a melhor técnica a ser utilizada;
5. elaborar um projeto detalhado;

6. executar o projeto com rigoroso controle de qualidade.

Ao longo dos anos diversas técnicas para reabilitação estrutural foram desenvolvidas, dentre as quais se pode citar o aumento da seção transversal, a protensão externa, as chapas de aço coladas com resina epóxi.

As chapas coladas com resina epóxi surgiram na década de 1960 na Europa e na África do Sul. A primeira publicação sobre essa técnica de reforço estrutural foi feita por R. L'Hermite e J. Bresson em 1967 num simpósio da RILEM (Emmons, 1998.a; Sánchez, 1998). Este método foi muito utilizado durante os anos setenta para reforçar vigas e lajes à flexão e à força cortante (Figura 1.1). Entretanto, as chapas de aço apresentam problemas de durabilidade ligados à corrosão.



Figura 1.1 – Reforço estrutural por meio de colagem de chapa de aço com resina epóxi (Disponível em <http://www.balvac.co.uk/upload/news>).

Em substituição à chapa de aço surgiu nos anos 1980 a técnica de reforço estrutural utilizando-se compósitos de fibras de carbono (CFC), que além de oferecerem alta resistência, não modificam a geometria da estrutura, não apresentam problemas ligados à corrosão e têm baixa massa específica. Estas características despertaram grande interesse no desenvolvimento de estudos em diversos centros de pesquisa do mundo.

## 1.2. Justificativas

As atuais pesquisas sobre reforço de estruturas com CFC buscam descobrir o comportamento desse sistema, elaborar modelos consistentes e prover os projetistas de normas seguras e econômicas. A maior parte das

pesquisas são sobre o reforço de vigas à flexão, à força cortante e para o confinamento de pilares. O número de trabalhos referentes a reforço à torção é bastante limitado, podendo-se citar Ghobarah *et al.* (2002), Panchacharam *et al.* (2002), Täljsten (2003), Salom *et al.* (2004), Ameli *et al.* (2004) Deifalla e Ghobarah (2006), Hii e Al-Mahaidi (2006a, 2006b, 2006c, 2007).

Durante muito tempo considerou-se a torção como um efeito secundário nas estruturas de concreto armado, porém, a partir dos anos sessenta observou-se uma evolução nos métodos de análise, com o surgimento de novas teorias ou variações de concepções já existentes. A consideração da torção é de extrema importância para análise de estruturas que requeiram rigidez a este tipo de solicitação, como pontes, vigas de extremidade ou com carregamento excêntrico, e vigas sobre as quais se apóiam marquises.

Diversos fatores podem acarretar a necessidade de reforço à torção, como seção transversal ou armaduras transversal e longitudinal insuficientes, momento torçor solicitante superior ao considerado no projeto, concreto com resistência inferior à especificada, erros de cálculo, rigidez à torção insuficiente, entre outros.

As patologias à torção em estruturas de concreto armado são caracterizadas por fissuras com forma helicoidal que se propagam ao longo do elemento com certa inclinação variável em cada face da viga (Figura 1.2).

O reforço estrutural para vigas de concreto armado solicitadas à torção pode ser feito por meio da colagem externa de CFC no sentido longitudinal e transversal, e de acordo com os trabalhos de Ghobarah *et al.* (2002), Panchacharam *et al.* (2002), Täljsten (2003) e Salom *et al.* (2004), promovem um aumento de resistência em estruturas submetidas a este tipo de solicitação.

Esta pesquisa dá continuidade a uma série de trabalhos iniciados em 2001 no Departamento de Engenharia Civil da PUC-Rio, cujo o enfoque é o reforço de estruturas de concreto armado com CFC. Na área experimental foram defendidas as dissertações de mestrado de Araújo (2002a) e de Machado (2004). Na área de modelagem numérica por elementos finitos foi desenvolvida a dissertação de Souto Filho (2002). Joaquim (2004) propôs um modelo analítico para dimensionamento direto do reforço à flexão, e Pereira (2005) implementou sistemáticas de análise para reforço à força cortante. Meneghel (2005) e Pacheco (2006) desenvolveram dissertações de mestrado experimentais sobre aderência entre o concreto e compósitos com tecido de fibras de carbono.

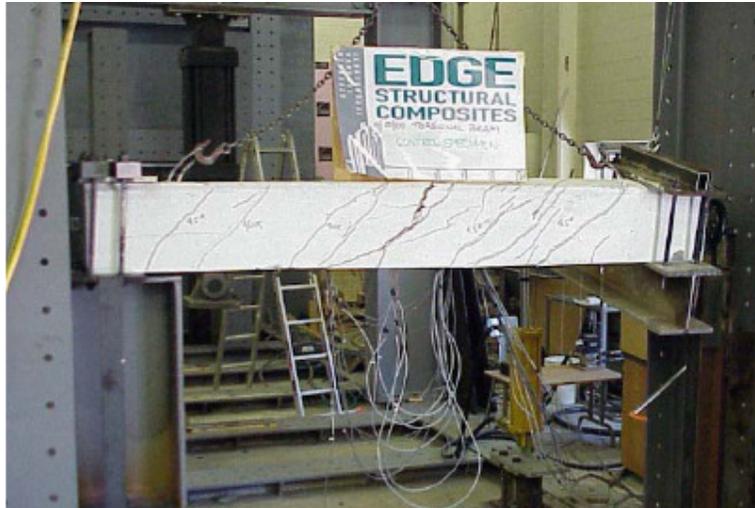


Figura 1.2 – Fissuração devido à torção (Salom, 2004b).

### 1.3. Objetivos

Este trabalho é uma pesquisa teórico-experimental composta dos ensaios de sete vigas de concreto armado, realizadas no Laboratório de Estruturas e Materiais da PUC-Rio, e a elaboração de modelos teóricos consistentes para a análise e dimensionamento do reforço de vigas. Uma das vigas é de referência, sem reforço, e as outras seis vigas com diferentes configurações de reforço à torção com CFC. A partir da análise dos resultados deste programa experimental pretende-se:

- Avaliar o acréscimo de carregamento a que podem resistir as vigas de concreto armado reforçadas à torção com tecidos de fibra de carbono.
- Analisar o comportamento das vigas com diferentes configurações de reforço.
- Desenvolver e validar um modelo de cálculo para determinação do momento torçor último e traçado do diagrama  $T \times \theta$  (momento torçor vs. ângulo de torção por unidade de comprimento) de vigas de concreto armado reforçadas à torção com CFC, baseado na formulação da treliça espacial com abrandamento de tensões desenvolvida por Hsu (1993), e num modelo de aderência apresentado em Chen e Teng (2003);
- Propor uma sistemática de cálculo para dimensionamento de reforço à torção com CFC em vigas de concreto armado fundamentada no modelo de treliça espacial do Eurocode 2, e num modelo de aderência.

## 1.4. Organização do trabalho

Além da introdução, este trabalho está estruturado em mais sete capítulos e referências bibliográficas.

O capítulo 2 mostra as características, vantagens, desvantagens, composição e o uso de compósitos de fibra de carbono no reforço de estruturas de concreto armado.

O terceiro capítulo contém os conceitos, análise e procedimentos de cálculo para elementos solicitados à torção no regime elástico linear com seção circular, seção genérica e seções vazadas de paredes finas.

No quarto capítulo descreve-se a metodologia de análise e dimensionamento de estruturas de concreto armado solicitadas à torção por meio do modelo da treliça espacial generalizada considerando-se o modelo do painel fissurado.

No quinto capítulo são estudados alguns trabalhos experimentais e teóricos encontrados na literatura, relativos a vigas de concreto armado reforçadas à torção com compósitos de fibra de carbono.

No capítulo 6 apresenta-se o modelo de cálculo para determinação do momento torçor último e para o traçado do diagrama  $T \times \theta$ , e uma sistemática para dimensionamento do reforço com CFC de vigas de concreto armado solicitadas à torção.

O sétimo capítulo contém o programa experimental realizado, onde são mostrados o detalhamento das vigas, os materiais empregados, o esquema de instrumentações, o sistema de aplicação de carga e todas as etapas necessárias para execução dos ensaios das vigas.

No capítulo oito são apresentados e analisados os resultados obtidos a partir do programa experimental, que são comparados com os modelos propostos.

Ao final deste trabalho são apresentadas as conclusões e algumas sugestões para estudos futuros.