

# 1 Introdução

## 1.1. Considerações Gerais

As estruturas de concreto armado apresentam, em geral, um período de vida útil longo, durante o qual seu regime de utilização pode ser alterado, seja por meio do aumento das solicitações ou pelas alterações em sua geometria. Além disso, as condições iniciais consideradas no projeto original são alteradas também pelo envelhecimento natural e pela deterioração resultante da ação de agentes agressivos. É interessante ressaltar que as estruturas podem apresentar diferenças em relação ao projeto inicial devido à execução.

A demanda pelo reforço de estruturas surgiu como resposta aos problemas de deterioração, projetos inadequados, problemas de construção, mudança de utilização da estrutura e como uma alternativa para melhorar a capacidade dessas para resistir ao aumento das solicitações. Um projeto de reforço estrutural é diferenciado pelas características que cada situação pode apresentar. Atualmente existem várias técnicas de reforço disponíveis, cuja aplicação e desempenho dependerão da configuração geométrica e do carregamento da estrutura.

Durante o procedimento de reforço deve-se ter cuidados especiais que envolvem todos os aspectos, desde o material existente, geralmente deteriorado, até o detalhamento da estrutura, que pode ser deficiente e não retratar a real situação da estrutura. Quando um reforço é utilizado, as alterações possíveis no comportamento estrutural do elemento devem ser cuidadosamente consideradas, como num reforço à flexão que pode conduzir à ruptura por força cortante, ao invés de permitir que seja alcançada a capacidade desejada.

A aplicação de materiais compósitos, mais especificamente os compósitos de fibra de carbono, é uma das melhores técnicas surgidas nos últimos anos, como alternativa e substituição às tradicionais chapas de aço, empregadas com grande sucesso desde a década de 1960. Os compósitos de fibra de carbono possuem diversas vantagens, dentre as quais, a alta resistência, o baixo peso próprio, a

grande durabilidade e a capacidade de assumir formas complexas. Os compósitos de fibra de carbono, ao contrário do aço, não são afetados pela corrosão eletroquímica e resistem aos efeitos corrosivos de ácidos, sais e outros agentes agressivos.

A necessidade de aumentar o conhecimento e a confiança na utilização dos compósitos de fibra de carbono torna necessário o desenvolvimento de um programa de pesquisa, experimental e teórico, sobre o comportamento e o desempenho desses novos materiais empregados no reforço de estruturas de concreto armado, de modo a disponibilizar essas informações, tanto para o fabricante das fibras, quanto para os profissionais de engenharia que dimensionam e especificam reforços estruturais.

## **1.2. Objetivos**

O principal objetivo deste trabalho é o estudo experimental da ductilidade de vigas retangulares de concreto armado reforçadas à flexão com compósitos de fibra de carbono. Busca-se um melhor entendimento dessa propriedade face ao uso crescente desta técnica de reforço em vigas de concreto.

Foram ensaiadas sete vigas bi-apoiadas, sendo uma viga de referência e as demais reforçadas à flexão com tecido de fibra de carbono. Todas as vigas foram dimensionadas de modo a garantir a ruptura por flexão e possuem as mesmas características mecânicas e geométricas.

As vigas reforçadas foram divididas em dois grupos. O primeiro grupo não foi submetido a um pré-carregamento, ou seja, o reforço foi feito inicialmente. O segundo grupo foi submetido a um pré-carregamento, buscando-se avaliar uma situação próxima da realidade. O primeiro grupo, sem carregamento inicial, é constituído por duas vigas, sendo que uma delas foi reforçada com uma camada de tecido de fibra de carbono e a outra foi reforçada com duas camadas de tecido, mas com a mesma área final de reforço. O segundo grupo, submetido a um pré-carregamento, é constituído de quatro vigas, sendo duas delas reforçadas com uma camada de tecido de fibra de carbono e as outras reforçadas com duas camadas de fibra de carbono.

### 1.3. Organização do Trabalho

No segundo capítulo são apresentadas, resumidamente, as principais características dos materiais que compõem o sistema de reforço utilizado: compósitos de fibra de carbono e resina epóxi. São descritos os tipos de ruptura das vigas reforçadas e realiza-se uma breve análise da obtenção do reforço à flexão.

O terceiro capítulo discute os conceitos clássicos para determinação da ductilidade, mostrando os índices calculados por meio da relação das flechas e curvaturas e o cálculo da ductilidade por meio de um critério energético. É formulada a relação de momento x curvatura, bem como a determinação da ductilidade energética das vigas por meio dos valores disponíveis de cargas, flechas, momentos e curvaturas. Por fim, desenvolve-se uma breve análise da determinação da rotação plástica a partir dos valores das curvaturas.

No quarto capítulo são estudados alguns trabalhos experimentais e teóricos encontrados na bibliografia sobre vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono, com ênfase na determinação da ductilidade de vigas reforçadas.

No quinto capítulo é descrito o programa experimental realizado. São apresentados o detalhamento das vigas, os materiais empregados, o esquema de instrumentações, o sistema de aplicação de carga, o sistema de manutenção de deformação e todas as etapas necessárias para execução dos ensaios das vigas.

No sexto capítulo são relatados e analisados os resultados dos ensaios das vigas, como os tipos de ruptura, as cargas de ruptura das vigas, os índices de ductilidade de flecha e curvatura, os índices de ductilidade energéticos de flecha e curvatura, as rigidezes das vigas ensaiadas e os valores da rotação plástica.

No sétimo capítulo são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros.

Nos Anexos estão as seguintes informações:

- Anexo A - fotos referentes ao programa experimental.
- Anexo B - resultados dos ensaios das barras de aço utilizadas na confecção das vigas e uma tabela resumida dos valores obtidos.

- Anexo C - resultados das leituras dos extensômetros mecânicos, bem como as deformações específicas do concreto e os gráficos seção transversal x deformação para cada uma das vigas ensaiadas.
- Anexo D - gráficos carga x deformação dos aços e das fibras e os gráficos carga x flecha obtidos durante os ensaios das vigas.
- Anexo E – as etapas de cálculo para a obtenção dos momentos e curvaturas das vigas.
- Anexo F - os passos para a determinação da energia total e energia elástica de todas as vigas.
- Anexo G - os cálculos para a determinação dos índices de ductilidade energéticos calculados.
- Anexo H - cálculos para a obtenção da rotação plástica.