

## 6 Conclusões e Sugestões

### 6.1 Conclusões

Este trabalho empregou o método de elementos finitos com base no conceito de zona coesiva, por meio do software computacional ABAQUS®, para a investigação da propagação de trincas em concretos reforçados com fibras de aço.

Especificamente, procurou-se reproduzir os resultados de ensaio de tração, cisalhamento e flexão em corpos de prova realizados na Universidade Federal do Rio de Janeiro (Coppe/UFRJ) por Marangon (2011). A partir da calibragem dos modelos numéricos foi realizado um ensaio em modo misto.

O material foi considerado homogêneo e isotrópico na modelagem e a região onde se processa a fratura foi modelada com base no modelo constitutivo da zona coesivo com amolecimento, sendo que três modelos constitutivos foram utilizados: Bi-linear, Linear exponencial e o PPR.

A partir dos resultados da modelagem numérica conclui-se que:

- O método dos elementos finitos com base no conceito de zona coesiva se mostrou uma ótima ferramenta para simular os processos de propagação de trincas em corpos de prova.

- O modelo coesivo PPR, em relação à modelagem, mostrou-se um elemento de fácil utilização e em relação à análise, se mostrou um elemento de bons resultados e convergência rápida.

- Os modelos Bi-linear e Linear exponencial, em relação à modelagem, não são de fácil manuseio, pois apresentam um grande número de variáveis e opções para modelagem; em relação à análise, apresentam problemas de convergência.

- A relação Carga aplicada x deslocamento obtido numericamente no ensaio de flexão, apresenta uma concordância boa com o resultado experimental na fase de carregamento para todos os modelos empregados, com apenas o modelo Bi-linear tendo um pequeno desvio de linearidade próximo do pico da curva. Com relação à fase de amolecimento todos os modelos foram

➤ relativamente diferentes, com o modelo PPR se aproximando mais da curva experimental e o modelo Bi-linear se afastando mais.

➤ Embora no ensaio de flexão os modelos coesivos apresentem pequenas diferenças na curva Carga x Deslocamento em relação ao experimental (fase de amolecimento), pode-se afirmar que todos os modelos apresentam tendências gerais do comportamento do material ensaiado, e suas curvas são satisfatórias do ponto de vista qualitativo.

➤ Os resultados tensão x deslocamento na fase de carregamento dos ensaios de modo I e II puros foram satisfatórios no modelo constitutivos. Na fase de amolecimento a diferença existe principalmente no elemento Bi-linear, alcançando deslocamentos finais menores do que os demais, mostrando que o modelo Bi-linear não se enquadra em análises com não linearidades.

➤ De modo geral, as análises realizadas neste trabalho mostraram-se satisfatórias do ponto de vista qualitativos e até quantitativo, deixando evidente que os modelos coesivos, em especiais, PPR e Linear exponencial, apresentaram bons resultados.

➤ Para o modo misto os resultados dos modelos Bi-linear e PPR foram praticamente os mesmos, evidenciando que ambos os modelos aplicam-se bem a este tipo de ensaio na fase linear da análise.

➤ Embora não tenha sido explicitado de forma clara no trabalho, dois métodos de controle foram utilizados, quais sejam: controle de deslocamentos e o controle por Riks. Inicialmente foram utilizados os controles de deslocamentos, onde o mesmo forneceu bons resultados apenas para o ensaio de tração. Para os ensaios de cisalhamento, flexão e em modo misto o controle por Riks foi mais eficiente apresentando resultados mais expressivos.

➤ Para contornar os problemas de convergência dos modelos Bi-linear e Linear exponencial foram adotados dois critérios para convergência. Mais incrementos com tamanhos menores e o aumento do número de tentativas antes de abandonar o cálculo. Com relação ao aumento do número de incrementos foi observado que quanto maior o tempo de análise, menor a possibilidade de um corte prematuro ou finalização da análise. No que se refere ao tamanho do incremento, percebeu-se que quanto menor mais pontos são computados na análise, pegando assim mais pontos no momento em que ocorre o início da fratura, fornecendo assim um valor mais aproximado. Uma vez que o Abaqus apresenta um numero padrão de tentativas em cada iteração, e com esse padrão não estava ocorrendo convergência, foi necessário aumentar o número de tentativas até atingir a convergência. Vale ressaltar que os modelos

Bi-linear e Linear exponencial foram os que apresentaram as maiores necessidades para a adoção dessas modificações no controle de convergência.

## **6.2**

### **Sugestões para trabalho futuros**

O presente trabalho abre caminho para futuras linhas de pesquisa, dentre as quais se destacam:

- Realizar um ensaio experimental em modo misto com outros modelos propostos na literatura que sejam adequados para materiais cimentícios e comparar com modelagem numérica, para um estudo comparativo mais completo.
- Realizar o mesmo estudo de fratura, porém com modelos 3D, uma vez que o ABAQUS® oferece um elemento de fratura coesiva 3D e o elemento PPR foi estendido a 3D em pesquisas recentes.