1
Introdução

1.1
Considerações iniciais

Acidentes causados a partir de trincas/fissuras em estruturas são comuns na história da engenharia (Figura 1.1).

Figura 1.1: Acidente gerado por fadiga – propagação de uma micro trinca de forma lenta até atingir um tamanho crítico, gerando assim a fratura.

Em alguns casos as trincas surgem pelo mau dimensionamento do projeto, desconsiderando algumas possíveis solicitações durante a vida útil da estrutura (Figura 1.2).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221986/CA

Figura 1.2: Trincas a partir de recalque da estrutura.

Em outros casos, as fissuras são provenientes do próprio processo de produção do material empregado na estrutura. Como é o caso do concreto utilizado na construção civil, onde este material pode vir a apresentar várias fissuras ao longo da peça estrutural decorrente do processo de cura.

Estas fissuras no concreto acarretam em uma considerável redução em sua resistência. Por desconhecerem processos de falhas e até o quanto a estrutura resistirá quando solicitada os projetistas adotam coeficientes de ponderação segundo normas de dimensionamento para minorar a capacidade resistente de peças estruturais.

Para contornar problemas de fissuras e alcançar maiores desempenhos em concretos, os engenheiros tem procurado cada vez mais combinar materiais de diferentes características a fim de obter um compósito com as melhores características dos insumos primários.

Nesse contexto surgem então os concretos autoadensáveis fibrosos (CAAF). Onde estes têm como características principais possuírem menos fissuração quando comparados aos concretos convencionais, alcançando assim valores maiores na resistência final.

Por outro lado, torna-se também muito importante entender fisicamente como se dão as tensões e/ou deformações no entorno das fissuras, tendo em vista que as distribuições mudam consideravelmente quando comparados a um corpo sem fissuras.

Dessa forma utiliza-se então a Mecânica da Fratura (MF). Que segundo (Castro & Meggiolaro, 2009)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221986/CA

"A MF tem como principais objetivos quantificar a maior carga que uma estrutura trincada pode suportar em serviço, identificar a maior trinca tolerável por uma estrutura em serviço e quantificar a taxa de propagação de trincas e a vida residual das estruturas trincadas sob cargas reais de serviço."

Com o conhecimento e a compreensão da MF o engenheiro civil torna-se capaz de realizar um diagnóstico mais confiável acerca do comportamento mecânico de sistemas estruturais sujeitos a falhas.

A MF é originalmente dividida em duas subáreas: a Mecânica da Fratura Linear Elástica (MFLE) e a Mecânica da Fratura Elasto-Plástica (MFEP). A validade de cada uma das subáreas é o tamanho da zona plástica nas proximidades da trinca.

No entanto, a MF clássica apresenta um problema em sua formulação matemática. Tal problema é a existência de uma singularidade na formulação, jogando o valor da tensão ao infinito, quando avaliado o campo de tensões na ponta da trinca.

Assim, para contornar esse problema da MF, surge uma nova divisão: a Mecânica da Fratura Coesiva (MFC). A MFC teve início com os trabalhos pioneiros de Dugdale (1960) e Barenblatt (1959, 1962), de forma individual, onde os mesmos apresentaram os conceitos iniciais desta nova subárea da MF.

Com a evolução de métodos numéricos, como o método dos elementos finitos, por exemplo, e o advento da computação, as ideias da MFC foram incorporadas a modelos coesivos computacionais que se sucederam, de tal forma que o processo de fratura se tornasse parte da resolução de um problema de valor de contorno inicial, tendo como principal referência nesta área o trabalho de Needleman (1987).

Desta forma, a mecânica da fratura coesiva computacional conseguiu contornar as fragilidades conceituais das singularidades e tornou possível o estudo de problemas mais reais, com geometria mais complexa e mais graus de liberdade, o que até então não era possível.

Logo a MFC computacional se torna uma ferramenta muito poderosa na simulação de ensaios numéricos destrutivos para complementar o entendimento do comportamento de estruturas a partir de resultados de ensaios experimentais de materiais quase-frágeis sob carregamentos simples, podendo assim extrapolar a compreensão de modos simples de ruina à modos mais complexos de carregamentos em estruturas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221986/CA

1.2
Objetivos e delimitações

Devido a grande importância do entendimento de processos de ruptura em estruturas, este trabalho tem como objetivo geral procurar compreender os modos de ruina e quantificar a carga última em estruturas compostas de material quase-frágil. O material adotado no estudo trata-se de um compósito cimentício reforçado com fibras de aço. O estudo numérico se deu por meio da realização de modelagens numéricas para simulação da propagação de trincas, pelo método dos elementos finitos, incorporando o modelo de zona coesiva. Para atingir o objetivo final, alguns objetivos específicos foram estabelecidos, que são:

- Estudo dos diferentes modelos existentes na literatura para análise de fraturas coesivas;
- Abordagem e descrição do concreto autoadensável reforçado com fibras de aço;
- Compreensão e aplicação da rotina implementada do modelo de fratura coesiva com base no potencial PPR;
- Compreensão e aplicação dos modelos de fratura coesiva Bi-linear e Linear exponencial, disponíveis no software Abaqus;
- Avaliação da adequação do modelo de zona coesiva à simulação de ensaios destrutivos de materiais compósitos.

1.3
Organização da dissertação

Esta dissertação está organizada em seis capítulos, descritos na sequência.

O Capítulo 1 introduz o problema a ser estudado, evidenciando a relevância do objeto de estudo e alguns conceitos iniciais. Menciona de forma concisa a história da Mecânica da Fratura, define os objetivos e mostra a organização deste trabalho.

O Capítulo 2 é destinado a apresentar alguns fundamentos da Mecânica da Fratura (MF) com ênfase na Mecânica da Fratura Coesiva (MFC), fazendo uma síntese histórica, apresentando as leis matemáticas que governam o comportamento dos modelos coesivos e seus parâmetros principais.

O Capítulo 3 destina-se a apresentar a relevância do estudo de compósitos cimentícios fibrosos, os materiais constituintes deste compósito e os ensaios para caracterização das reações constitutivas.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221986/CA

O Capítulo 4 destina-se a mostrar a formulação geral dos modelos de fratura coesiva utilizados nesta dissertação, evidenciando o modelo constitutivo (relação tensão coesiva – abertura) de cada um dos elementos, critério para início de dano bem como o dano completo e a obtenção dos parâmetros necessários para se trabalhar com estes modelos.

No Capítulo 5 são detalhados quatro exemplos de aplicação das formulações. A primeira será um exemplo de tração pura; a segunda será uma simulação de cisalhamento puro; o terceiro ensaio numérico será uma viga submetida à flexão em quatro pontos; e por fim, o quarto ensaio é destinado a testar os modelos de fratura coesiva submetidos ao modo misto de fratura.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões obtidas após os desenvolvimentos e as simulações dos modelos. Expõem-se também, as sugestões para trabalhos futuros.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 1221986/CA