

## 8

# Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

### 8.1.

#### Conclusões

O principal objetivo do presente trabalho é apresentar e validar os conceitos básicos de uma formulação geral que visa à adequada estimativa numérica do campo de tensões e deslocamentos em um domínio bidimensional com presença de trincas, considerando, inclusive a formação de zonas plásticas ao redor das pontas das trincas.

Como primeiro passo, para demonstrar a validade da formulação foi apresentado um problema de potencial em uma placa fina contendo um furo, onde a formulação proposta demonstrou ser mais eficiente do que a solução dada por Dumont e Mamani (2011), a formulação também demonstrou ser mais eficiente das soluções fundamentais tipicamente usadas nos métodos de elementos de contorno. Apesar dos melhores resultados obtidos, a formulação proposta não pretende substituir soluções fundamentais clássicas como a solução fundamental de Kelvin para o caso de elasticidade, a qual além de geral é mais simples.

Foi intensamente estudada a forma da abertura de uma trinca reta em um meio infinito para vários tipos e números de discretizações, demonstrando-se que a abertura da trinca é mais bem representada por elementos mistos com rotação, isto é, usando elementos polinomiais (Polinômios de Hermite) para representar os elementos das faces da trinca, elementos elípticos para as pontas da trinca, e elementos que consideram a rotação relativa entre as faces da trinca. Também foram feitos estudos do campo de tensões próximo à ponta da trinca, os elementos propostos (elementos mistos com rotação) além de não introduzir tensões desnecessárias garantem a convergência das tensões em pontos próximos à ponta da trinca.

O fator de intensidade de tensão  $K_I$  também foi estudado. Quando  $K_I$  é obtido diretamente a partir das variáveis primárias do problema, ou seja, a partir do vetor  $\mathbf{p}^*$ , os erros de  $K_I$  para a trinca discretizada com 64 elementos são

próximos a  $\pm 8\%$ , não foi obtido um padrão de convergência. Um procedimento mais elaborado para o cálculo do fator de intensidade de tensão é calculando  $K_I$  a partir das tensões ou aberturas medidas em pontos próximos à ponta da trinca, os erros de  $K_I$  para a trinca discretizada com 64 elementos atingiram valores de  $\pm 2\%$ . O cálculo de  $K_I$  por comparação com a série de Williams apresentou melhores resultados, por exemplo, para a trinca discretizada com 64 elementos foi possível obter erros em torno de  $\pm 1\%$ , usando-se 10 pontos localizados entre  $x = 0.01..0.1$ .

O procedimento iterativo para a avaliação das zonas plásticas converge de forma satisfatória quando o contorno de plastificação é pequeno em comparação com o tamanho do elemento usado para representar a ponta da trinca, para zonas plásticas maiores o algoritmo diverge. Foi verificado preliminarmente que o fato de trazer todos os termos do tensor de tensões  $P(\sigma_I, \sigma_{II})$  proporcionalmente à superfície de escoamento, ao invés de trazer  $P(\sigma_I, \sigma_{II})$  para o ponto  $P_{\perp}$  como esquematizado na Figura 30 não é uma fonte significativa de divergência em zonas plásticas de maior tamanho. A técnica de linearização a partir do operador tangente consistente apresentado por Fernandes e Souza Neto (2013) também poderia ser estudada quando aplicada ao contexto deste trabalho. Abordagens alternativas ao uso da matriz de flexibilidade  $F$  no processo iterativo também devem ser levadas em conta para trabalhos futuros.

A eficiência dos métodos de elementos de contorno aplicados à mecânica da fratura e a boa representação da natureza das trincas por meio das funções de tensão de Westergaard generalizadas foi demonstrada no presente trabalho, visando um grande potencial no cálculo numérico da mecânica da fratura.

## **8.2. Sugestões para trabalhos futuros**

No presente trabalho foram apresentados exemplos simples de validação. Para trabalhos futuros propoe-se a implementação e análise de problemas da mecânica da fratura mais complexos, similar aos exemplos apresentados por Dumont e Lopes (2003) e Mamani (2011), os quais incluem problemas da

mecânica da fratura com complicações topológicas como domínios finitos, furos, reentrâncias e quinas.

O estudo da técnica de linearização a partir do operador tangente consistente apresentado por Fernandes e Souza Neto (2013) aplicado ao contexto deste trabalho é proposto para um trabalho futuro.

O estudo de procedimentos alternativos baseados em operadores tangentes ao invés do uso da matriz de Flexibilidade no cálculo iterativo das zonas plásticas.

Outra sugestão para trabalhos futuros é o desenvolvimento da formulação para problemas de trincas com bifurcações, e possivelmente como um caso particular o estudo de trincas de bordo.

Uma maior abordagem das funções de tensão de Westergaard generalizadas como solução fundamental no método convencional dos elementos de contorno.

Generalização da formulação para problemas dependentes do tempo, especificamente problemas no domínio da frequência.

Desenvolvimento de funções de tensão para problemas tridimensionais.