

12 Conclusões

O principal intuito da presente pesquisa esteve orientado à formulação do método híbrido para elementos finitos e de contorno no contexto da novel teoria de elasticidade gradiente não obstante tenha ainda alguns aspectos que precisam ser depurados, principalmente o assunto vinculado com o significado físico das grandezas não-clássicas ainda não claras na literatura. Foi pesquisado também a possibilidade da aplicação da matriz \mathbf{H} na versão simplificada do MHEC e expedita do MEC no contexto gradiente para a solução de problemas estáticos.

Na seção do MHEF, todos os elementos finitos quadrilaterais desenvolvidos Q4 (lineares), Q8 (quadráticos) e Q12 (cúbicos), passam o PT para campos de deslocamentos aplicados até o grau da ordem de cada elemento; para campos de grau mais alto o desempenho dos elementos finitos na elasticidade gradiente foi avaliado através de análises de convergência de forma relativamente satisfatória, ela é reduzida a medida do acréscimo do valor da constante constitutiva não-clássica g .

A análise de convergência do MHEF desenvolvida para elementos Q4 em termos de forças de superfície é imediata para a aplicação do campo quadrático, embora não é satisfeito o PT; para campos de deslocamentos de ordem maiores a convergência das forças nodais de superfície é satisfeita assim como as forças internas tanto para análise do Q4 e do Q8.

Foi analisado o desempenho de cada elemento finito, Q4, Q8 e Q12, para representar as tensões internas dentro do domínio dos elementos submetendo-os a campos de deslocamentos nodais de ordem superior ao elemento; foi encontrado que as grandezas estruturais calculadas com funções polinomiais convergem melhor à resposta analítica que aquelas calculadas com funções Bessel tipo I e que na maioria dos casos os valores no meio de cada elemento representam a melhor aproximação.

Foi verificada a ortogonalidade das matrizes \mathbf{H} , \mathbf{K} e \mathbf{F} aos respectivos campos nulos, \mathbf{W} e \mathbf{V} de forma satisfatória em todos os EFs desenvolvidos no contexto gradiente.

Na seção do MHEC foram analisadas as propriedades espectrais da matriz \mathbf{H} , composta de \mathbf{H}^* e \mathbf{H}^R . Foi verificado que \mathbf{H}^* satisfaz as propriedades espectrais para elementos de contorno lineares, quadrático e cúbicos; não obstante, a ortogonalidade de \mathbf{H}^R aos deslocamentos de corpo rígido foi satisfeita só para contornos compostos de elementos lineares e para o caso de elementos quadráticos particularmente nos pontos suaves. A hipersingularidade $1/r^2$ de \mathbf{H}^R ainda não foi tratada de forma devida e/ou completa para contornos com descontinuidade C^1 na geometria do elemento estrutural.

Também foi analisada a interessante convergência de uma parte das equações da formulação MEEC utilizando a parte superior da matriz \mathbf{H} do MHEC da EG desenvolvida por Huamán e Dumont, diferente da matriz \mathbf{H} desenvolvida por Tsepoura e Polyzos no MEC na EG, [13] e [14]. A convergência consistiu do erro dos deslocamentos do sistema interno, \mathbf{d}^* , através da aplicação de um campo de deslocamentos linear num sólido compostos por elementos de contorno lineares e quadráticos, sugerindo a viabilidade do método para condições de contorno com forças de segunda ordem, \mathbf{R} , nulas. A convergência para campos quadráticos não mostrou uma convergência regular e é ainda susceptível de maior pesquisa.