

1

Introdução

O método direto dos elementos de contorno [1, 3], referenciado neste trabalho por “método convencional dos elementos de contorno (MCEC)”, foi formulado em meados de 1967, originalmente para elastostática, baseando-se em hipóteses de aproximação de deslocamentos e de forças de superfície no contorno. Desde então, foram desenvolvidas aplicações nas mais diversas áreas. No contexto da obtenção de uma matriz de rigidez, sabe-se que o MCEC não é um método “consistente”, isto é, deslocamentos de corpo rígido provocam forças.

Em 1991, através da consideração de constantes na solução fundamental que penalizam as equações de equilíbrio, obteve-se expressões para um método consistente dos elementos de contorno [5]. O método convencional consistente dos elementos de contorno (MCCEC) apresentado neste trabalho foi proposto em 1997 e também baseia-se na adequada consideração das constantes de corpo rígido na solução fundamental [10] de modo a impor o equilíbrio das forças de superfície no contorno.

O método híbrido de tensões dos elementos de contorno (MHTEC) [4] foi proposto em 1987, com base no potencial de Hellinger-Reissner e hipóteses de aproximação de tensões no domínio e de deslocamentos no contorno. Entre as aplicações já desenvolvidas, encontram-se problemas de potencial e elasticidade dependentes do tempo, problemas de acústica, cálculo de fatores de intensidade de tensões, análise de sensibilidade e problemas envolvendo material com gradação funcional.

Em 1991, em contrapartida ao MHTEC, foi introduzido o método híbrido de deslocamentos dos elementos de contorno (MHDEC) [6], baseando-se em hipóteses de aproximação de deslocamentos no domínio e forças de superfície no contorno. Mais recentemente, foram apresentadas a consideração de constantes de corpo rígido na solução fundamental e a investigação das propriedades espectrais matriciais [12].

Em 1999, como consequência das investigações das propriedades das equações matriciais do MHTEC, foi proposto o método híbrido simplificado

de tensões dos elementos de contorno (MHSTEC) [11], que se baseia nas mesmas hipóteses do MHTEC e na suposição de que a solução fundamental em termos de deslocamentos também é válida no contorno.

Neste trabalho, em contrapartida ao MHSTEC, é apresentado o método híbrido simplificado de deslocamentos dos elementos de contorno (MHSDEC), baseando-se nas mesmas hipóteses do MHDEC e na suposição de que a solução fundamental em termos de tensões também é válida no contorno. Também é proposto o método híbrido de malha reduzida dos elementos de contorno (MHMREC), baseando-se na suposição da validade das soluções fundamentais em termos de deslocamentos e tensões no contorno, como decorrência dos métodos MHSTEC e MHSDEC.

Os métodos de elementos de contorno acima mencionados são formulados para problemas de elasticidade, com alguns tópicos desenvolvidos para problemas de potencial, apresentados numa nomenclatura comum.

Tanto a matriz de flexibilidade \mathbf{F} presente no MHTEC e no MHDEC quanto a matriz de deslocamentos \mathbf{U}^* presente no MHSTEC possuem elementos indeterminados por integração ou por avaliação direta, que só podem ser obtidos a partir de suas propriedades espectrais. No entanto, em problemas com contornos côncavos e contornos internos de domínios multiplamente conexos, tais propriedades espectrais também conduzem a indeterminações. Esse comportamento também foi verificado em alguns problemas envolvendo material com graduação funcional [13].

Nos métodos MHSDEC e MHMREC, é definida uma matriz de forças \mathbf{T}^* que, de modo semelhante às matrizes de flexibilidade \mathbf{F} e de deslocamentos \mathbf{U}^* , também possui valores indeterminados por avaliação direta que são obtidos por suas propriedades espectrais.

A partir da investigação das propriedades das equações matriciais dos métodos híbridos e simplificados, são identificadas quatro novas relações matriciais, a partir das quais se pode obter esses elementos indeterminados das matrizes \mathbf{F} , \mathbf{U}^* e \mathbf{T}^* mesmo quando suas propriedades espectrais conduzem a indeterminações. No entanto, apenas uma dessas relações matriciais é verificada como válida numericamente.

Esta dissertação está organizada num total de 7 capítulos. O Capítulo 2 refere-se às considerações teóricas iniciais das teorias da elasticidade e do potencial. Neste capítulo também trata-se da discretização do contorno e da técnica de tratamento de nós de canto adotada. Este tratamento é desejável nos métodos MCCEC, MHTEC, MHSTEC, MHDEC e necessário para os métodos MHSDEC e MHMREC e para todos os métodos de elementos de contorno quando há consideração de forças de massa nas formulações

aqui apresentadas. Finalmente, é apresentada a solução fundamental com a consideração de constantes de corpo rígido.

O método MCCEC, os métodos híbridos MHTEC e MHDEC, os métodos híbridos simplificados MHSTEC, MHSDEC e MHMREC estão apresentados nos Capítulos 3, 4 e 5. Para cada método, são deduzidas suas equações matriciais, sua matriz de rigidez e a formulação para obtenção de valores em pontos no domínio. Também são analisadas as propriedades de ortogonalidade de cada matriz e a consistência de cada equação matricial. As novas relações matriciais identificadas estão formuladas no Capítulo 5.

No Capítulo 6, estão apresentadas aplicações numéricas para problemas de potencial para cada método de elemento de contorno mencionado, bem como são verificadas numericamente as novas relações matriciais obtidas. Finalmente, as conclusões são encontradas no Capítulo 7.