



1. INTRODUÇÃO

Tendo surgido no final da década de 60, o Método dos Elementos de Contorno (MEC) introduziu uma forma alternativa de solução de sistemas de Equações Diferenciais Parciais (EDPs) associadas a diversas análises de engenharia (BANERJEE et al., 1981; BREBBIA, 1978; CRUSE, 1969).

A característica principal do MEC é a representação da geometria e das variáveis de um modelo apenas através do seu contorno. Esta representação é feita de forma aproximada através de modelos discretizados, onde parâmetros nodais e funções de interpolação para segmentos (elementos) do contorno são utilizados.

Quando comparados com outros métodos nos quais a discretização do domínio se faz necessária, o MEC apresenta uma série de vantagens devido à redução da dimensão geométrica do problema. Tem-se, por exemplo, a diminuição do número de incógnitas e do tempo de geração do modelo a ser analisado, devido à diminuição de um grau de liberdade quando comparado com o Método dos Elementos Finitos (MEF). Por outro lado, o MEC também apresenta desvantagens, como a sua diminuta aplicabilidade na resolução de EDPs não-lineares. Mesmo assim, o perfil global do MEC o apresenta como uma ferramenta numérica bastante eficaz e que está em constante evolução.

A formulação convencional do MEC é baseada em técnicas de resíduos ponderados. A utilização conjunta de integrações por partes e de soluções fundamentais faz com que sejam necessárias avaliações de integrais apenas ao longo do contorno dos modelos.

O MEC requer a avaliação de integrais com funções singulares ao longo do contorno do modelo. Verifica-se assim a importância do procedimento de integração com alta precisão



e baixo esforço computacional, pois se estas integrais forem avaliadas de forma inadequada (através de integração numérica comum) podem ocorrer erros significativos na obtenção dos coeficientes de matrizes que são geradas ao longo do problema a ser resolvido.

O que se pretende neste trabalho é pesquisar a questão da avaliação numérica de alta precisão e com baixo esforço computacional de integrais singulares e quase-singulares em análises tridimensionais, prosseguindo com o estudo desenvolvido por Noronha (1998) que desenvolveu uma técnica eficiente e de alta precisão para análise bidimensional com o MEC.

Embora uma investigação preliminar sobre o assunto tenha sido divulgada pelos pesquisadores Noronha e Dumont, há ainda algumas questões importantes que não foram solucionadas de forma precisa e que deverão ser consideradas neste plano de trabalho. Dentre estas questões destacam-se a identificação precisa da natureza matemática das integrais que ocorrem em modelos tridimensionais analisados através do MEC. Para resolver estas questões, este trabalho propõe um estudo mais aprofundado sobre o problema com o objetivo de obter uma técnica avançada e precisa de integração numérica.

1.1 OBJETIVOS

Propor uma técnica de cálculo de integrais no MEC para modelos tridimensionais, cujos requisitos básicos são: alta precisão e baixo esforço computacional. Uma técnica de integração com estas características é fundamental para a obtenção de resultados com alta precisão nas análises com o MEC, como ocorre nas simulações bidimensionais utilizando a técnica proposta por Dumont (1994) e Noronha (1998).

Um dos pontos básicos do presente trabalho é justamente estender esta técnica para o caso tridimensional. Para se fazer esta extensão é necessário um estudo mais elaborado sobre os problemas envolvendo integrais regulares, singulares e quase-singulares que ocorrem em simulações tridimensionais com o MEC.



Implementar computacionalmente a nova técnica de integração a ser desenvolvida. Esta implementação será realizada utilizando conceitos avançados de Programação Orientada a Objetos, utilizando a linguagem Java, e conhecimentos sobre as novas técnicas de desenvolvimento de programas computacionais, como: UP, Design Patterns, UML, XML e Refactoring.

Após a implementação computacional o trabalho será direcionado para testes de convergência e simulações de problemas de engenharia, interagindo com outros grupos de pesquisa no Brasil e no exterior, mais exatamente com os projetos ELBENet e TunConstruct da TU-Graz e, com isso, propor avanços na aplicação de conhecimentos modernos na área de simulações numéricas de problemas de engenharia estrutural e geotécnica.

Através da técnica inovadora que está sendo proposta, espera-se que este trabalho acrescente novos rumos para o desenvolvimento e aplicações tanto no MEC quanto em outras áreas. Um outro ponto importante do trabalho é o envolvimento simultâneo com pesquisa básica e pesquisa aplicada. Esta última será realizada principalmente com aplicações em túneis e outras obras subterrâneas a serem analisadas. Os avanços na simulação destas obras são cruciais para o desenvolvimento de projetos mais seguros e econômicos.

1.2 JUSTIFICATIVA

Para a realização de análises mais próximas da realidade, a modelagem de problemas tridimensionais é cada vez mais requerida nos grandes projetos de engenharia. Uma aplicação importante dessas análises está em problemas geotécnicos como obras de túneis, por exemplo. As análises numéricas nesse tipo de obra são ainda muito precárias, limitadas a modelos bidimensionais que ignoram influências importantes do problema real.

Como em todos os métodos, o MEC possui vantagens e desvantagens em relação a outros métodos numéricos. Porém, observa-se que o MEC ainda é pouco usado em comparação ao MEF. Este aspecto é um fator motivador para os pesquisadores em MEC, justificando assim o investimento na pesquisa e no desenvolvimento de novas aplicações.



Dentre as vantagens do MEC, pode-se citar uma maior redução no tempo necessário para geração do modelo a ser analisado, já que apenas o contorno precisa ser discretizado, ao contrário do que ocorre no MEF, ou seja, o MEC trabalha com um grau de liberdade a menos que o MEF.

Outra vantagem que pode ser citada é a análise de modelos com domínio infinito, pois a representação dos modelos no MEC é mais simples que a de qualquer outro método numérico. Além disto, o MEC apresenta resultados com ótima precisão em análise de problemas com altos gradientes, com concentração de tensões e para problemas de Mecânica da Fratura. Estas características tornam o MEC uma ferramenta bastante promissora para simulações de problemas geotécnicos.

Após extensivas investigações na literatura e contatos com outros pesquisadores destas linhas de pesquisa (em Universidades no Brasil e no exterior), não foi encontrado nenhum trabalho que apresentasse solução semelhante a essa, isto é, uma solução eficiente para a avaliação das integrais que ocorrem no MEC em análises de problemas tridimensionais, considerando o efeito de quase-singularidade complexo.

Vale ressaltar que a maioria das técnicas existentes pode apresentar resultados imprecisos no caso de elementos de contorno distorcidos. Estas mesmas técnicas também podem exigir um esforço computacional muito grande, inviabilizando o seu uso. Assim, a realização deste problema abrirá um leque de novas perspectivas para o desenvolvimento de novas pesquisas sobre técnicas em integração, visualização, e análise não-linear de problemas tridimensionais com o MEC. Estas técnicas são vistas com muito entusiasmo por outros pesquisadores de centros de pesquisa importantes e que tem interesse nestes estudos, pois vislumbram um impacto benéfico nas questões de segurança e economia em projetos de engenharia.

O trabalho em conjunto com outros pesquisadores, também é um dos itens que justificou a importância deste trabalho. Entre eles, a cooperação como os projetos ELBENet e TunConstruct, coordenados pelo *Prof.* Gernot Beer, Áustria, nos quais o *Prof.* Marcos Noronha, bem como seu grupo de pesquisa, também faz parte. Esta cooperação é importante



para dar ao presente trabalho uma característica complementar de pesquisa aplicada, além de possibilitar a este autor um ganho significativo de experiência e conhecimento sobre os assuntos abordados nesta pesquisa.