

1

Introdução

O método dos elementos discretos (MED), como originalmente proposto por Cundall e Strack em 1979 [12], é um método numérico capaz de descrever o comportamento mecânico de um conjunto de discos ou esferas.

Com o aumento da capacidade de processamento e o desenvolvimento de técnicas de computação de alto desempenho, o MED, entre outros, que anteriormente se mantinham em uma esfera mais conceitual ou tinham seu uso limitado a modelos mais simplificados, passaram a despertar crescente interesse de diversos pesquisadores como ferramenta de estudo de problemas de engenharia.

Dentre as aplicações de grande apelo está a simulação de partículas, cada vez mais utilizada para análise de modelos sujeitos a grandes deformações, dentre os quais se destacam os fluidos e materiais granulares. Na área de fluidos, diversos avanços podem ser observados, inclusive com soluções baseada em Graphics Processing Unit, ou Unidade de Processamento Gráfico (GPU), nas áreas de análise [46] e de animação [34, 43]. Outro campo de estudo é a modelagem de fenômenos associados a materiais granulares dentre eles a compactação de pacotes granulares — como por exemplo em pós metálicos na indústria siderúrgica —, a produção de areia e a produção de material de sustentação de fraturas estimuladas hidraulicamente na indústria do petróleo, motivação deste trabalho.

Hoje em dia o MED pode ser considerado mais adequadamente como uma família de métodos numéricos utilizados para resolver problemas da mecânica aplicada através da discretização do meio empregando partículas. Em problemas onde o material é granular, com ou sem coesão, ou é suscetível à fratura e possível fragmentação, este caráter discreto se mostra interessante. Nesse contexto, em comparação com o método dos elementos finitos (MEF), o MED não precisa recorrer a complexas leis constitutivas [39], sendo assim mais adequado que o primeiro para o tratamento de meios granulares onde as hipóteses clássicas do contínuo são restritivas.

Na formulação original do MED por Cundall e Strack, são permitidas interpenetrações entre as partículas — como na figura 1.1 —, sob condição

de possuírem ordem de grandeza muito pequena em relação ao tamanho das partículas. Nos pontos de contato são geradas forças, normais e tangenciais, proporcionais a tais interpenetrações. Outras forças — como gravidade, força de atrito de Coulomb, etc. — também podem ser computadas e ao final somadas de modo a ser conhecida a força total atuando na partícula. A partir da segunda lei de Newton, calculam-se as acelerações de cada partícula, e as correspondentes velocidades e deslocamentos são obtidas utilizando-se algum método numérico de integração temporal.

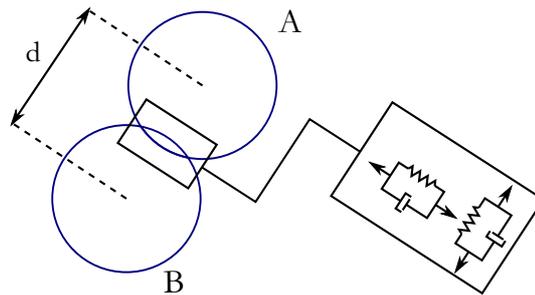


Figura 1.1: Interpenetração entre partículas.

Não obstante inicialmente somente partículas como círculos e esferas terem sido contempladas, atualmente partículas com formatos mais gerais, como poliedros [49], têm sido consideradas, dado que são mais aptas a capturar alguns aspectos essenciais do comportamento mecânico de materiais granulares [30], como atrito entre partículas e embricamento. Este formato angular, no entanto, gera um aumento no trabalho computacional, devido ao aumento da complexidade da detecção de colisão entre as partículas.

O MED como família abrange os seguintes métodos:

- método clássico, originalmente aplicado problemas mecânica das rochas, no qual as deformações de cada partícula individual podem ser desprezadas em comparação às do conjunto;
- o método proposto por Williams et al. [48], que mostra que o MED pode ser visto como um MEF generalizado;
- método de análise de deformação do descontínuo (ADD) proposto por Shi em 1988 [41]. Munjiza [32] afirma que este método é mais adequado a problemas estáticos;
- método combinado de elementos finitos e elementos discretos, como proposto por Munjiza et al. em 1992 [33].

Em comparação com o MEF e com o método dos elementos de contorno (MEC), que já possuem um status mais consolidado, o MED ainda está em uma fase mais preliminar, com muitos campos em franco desenvolvimento. Contudo, podemos observar o emprego do método em algumas áreas, como por exemplo:

- fragmentação de rochas através de explosões [39];
- análise de dutos enterrados [10];
- estabilidade de taludes, figura 1.2 [35];
- impacto de mísseis, figura 1.3 [42];
- corridas de detritos [3];
- simulação de fratura de ossos [29].

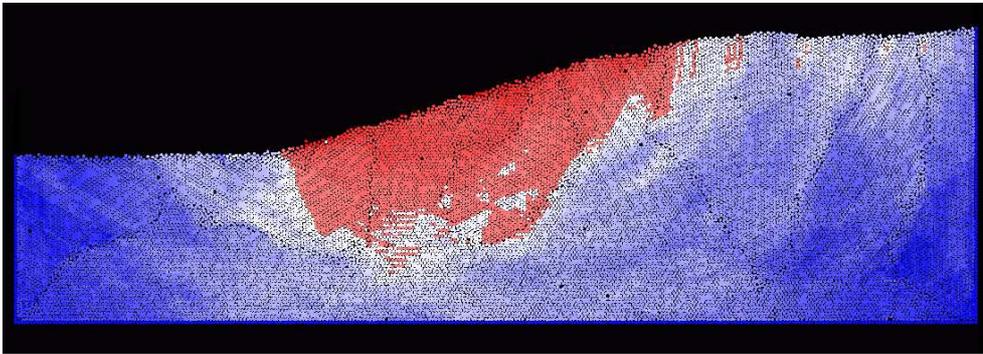


Figura 1.2: Exemplo de análise de estabilidade de taludes.

Ademais do ponto levantado anteriormente sobre o aumento do esforço computacional quando do uso de partículas de geometrias diversas, outro problema diz respeito à quantidade máxima de partículas em uma dada simulação. Embora atualmente simulações com o MED possam conter milhões de partículas, este número ainda não é suficiente para reproduzir completamente algumas situações reais típicas. Usualmente tais simulações restringem o tempo de simulação ou o número de partículas. Presentemente, tem sido explorado o emprego de processamento em paralelo para tentar resolver tais problemas, como pode ser visto em Hustrulid [22].

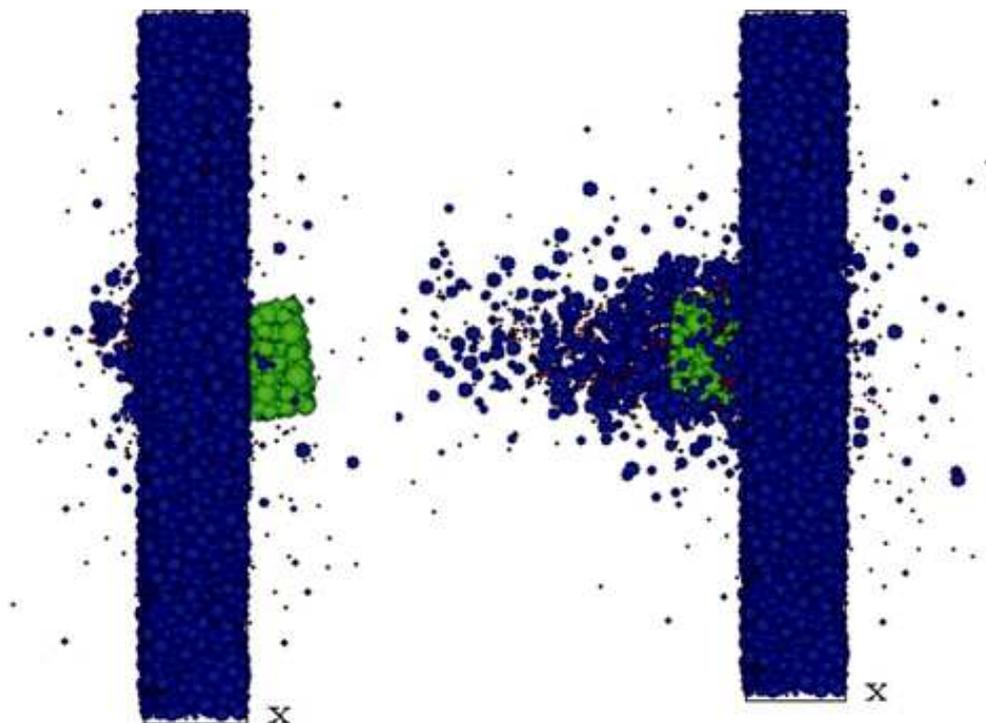


Figura 1.3: Exemplo de simulação de impacto de mísseis.

1.1 Motivação

O primeiro passo em uma simulação do MED é a geração inicial de arranjos de partículas. Hoje em dia, vêm sendo estudados algoritmos de geração de arranjos densos de partículas. Os algoritmos existentes apresentam vantagens e desvantagens. Muitos desses possuem alto custo computacional, o que limita sua utilização. Outros não permitem que a distribuição granulométrica seja prescrita. Alguns geram arranjos com sobreposições das partículas, que produzem, quando do início da análise do MED, forças iniciais nas partículas, não coerentes com problemas nos quais as partículas estão em repouso. Tais algoritmos serão melhor abordados mais a frente.

1.2 Objetivos

O objetivo inicial deste projeto é o desenvolvimento de um algoritmo para a obtenção de um arranjo granular denso que obedeça a uma dada granulometria e que possa ser utilizado como configuração inicial para o cálculo do MED. Não se pode deixar de ter como intenção que tal algoritmo seja capaz de gerar arranjos de milhões de partículas visando seu uso em simulações correntes.

Além do objetivo inicial, outro objetivo considerado interessante é a

otimização do arranjo segundo parâmetros, de forma a tornar possível, por exemplo, prescrever a porosidade.

1.3

Estrutura do trabalho

O segundo capítulo apresenta algoritmos de geração de arranjos desenvolvidos até o presente, classificando-os segundo o tipo de geração e descrevendo seus prós e contras. O terceiro capítulo apresenta o algoritmo proposto e técnicas para sua otimização através de uma estrutura de dados do tipo *quad-tree*. Arranjos obtidos com essa implementação são comparados com os gerados pelo programa comercial PFC2D. O quarto capítulo apresenta a otimização de parâmetros dos arranjos gerados utilizando algoritmos genéticos (AG). Finalmente são apresentadas as conclusões dessa pesquisa e propostas para trabalhos futuros no quinto capítulo.