

6

Conclusões e Sugestões

A seguir são apresentadas algumas conclusões e sugestões para trabalhos futuros concordantes com esta dissertação.

6.1.

Conclusões

O desenvolvimento/montagem do sistema computacional de modelagem numérica tridimensional de fluxo proposta neste trabalho permite modelar o fluxo em condições de regime permanente ou transiente, saturados ou não saturados, em meios porosos, meios fraturados, meios porosos fraturados e em combinações destas condições, representados por regiões fechadas que podem ter fraturas isoladas ou famílias de fraturas criadas deterministicamente ou probabilisticamente, obtendo como resposta de análise para qualquer espaço do domínio do problema, distribuições de pressões de carga, pressões totais e campo de velocidades. Este sistema de análise abrange três programas específicos interligados através de rotinas de programação, e um quarto programa para a visualização de resultados. Este sistema proposto nesta dissertação detalha processos sequenciais para realizar análises de fluxo nos modelos mencionados.

Para o presente trabalho foram desenvolvidos cinco exemplos de análises numéricas de fluxo. As condições de contorno usadas foram em termos de cargas pressões e totais. Estes exemplos foram desenvolvidos com o intuito de verificar o comportamento hidráulico dos meios diversificados em entre meios porosos e meios porosos fraturados, sob diferentes regimes de fluxo, isto é, permanente ou transiente.

No Exemplo 1 foi feita uma análise em um meio poroso fraturado de domínio cúbico, sob uma só condição de contorno aplicada no topo, este exemplo

foi analisado em condições de regime permanente e transiente e serviu para verificar a consistência de resultados para as condições de contorno impostas.

No exemplo 2 foi feita uma análise em um domínio com forma de paralelepípedo que consta de duas regiões, um meio poroso e o outro meio poroso fraturado, este exemplo foi analisado em condições de regime permanente e transiente e serviu para constatar que as fraturas comportam-se como canais dentro do meio, outorgando ao fluido caminhos privilegiados em comparação aos meios analisados conjuntamente com as fraturas. Desta forma se verificou a influência das fraturas no comportamento hidráulico dos meios.

No exemplo 3 foi feita uma análise em um talude típico do Rio de Janeiro. Este talude contém duas regiões e uma fraturada isolada vertical. Este exemplo foi feito em condições de regime permanente e foi analisada com a fratura vertical e sem a fratura vertical. Concluiu-se que a inclusão da fratura na análise influenciou notavelmente no comportamento hidráulico do talude e que este tipo de análise é recomendado de ser usado em alguns casos onde se esteja analisando a estabilidade do talude ou possíveis casos de faturamento hidráulico.

No exemplo 4 foi feita uma análise de fluxo em outro talude típico do Rio de Janeiro, que contém duas regiões, fraturas verticais e uma junta de alívio. Este exemplo foi analisado em condições de regime permanente e foi feita para modelar e verificar o comportamento hidráulico de um típico talude de Rio de Janeiro sob a influência das fraturas e a junta de alívio.

No exemplo 5 tem-se uma variação na conformação das fraturas relação ao exemplo 4, este talude consta de duas regiões, uma fratura isolada e uma junta de alívio, este exemplo também foi analisado em condições de regime permanente e como para exemplo 4 foi idealizado para modelar e verificar o comportamento hidráulico de um tipo de talude típico de Rio de Janeiro.

Destes cinco exemplos numéricos desenvolvidos pode-se concluir a importância de se considerar as fraturas nas análises de fluxo. Análises de estabilidade, transporte de contaminantes, faturamento hidráulico, fundações sobre maciços fraturados entre outros, podem usar este sistema para calcular cargas de pressões, cargas totais, velocidades de fluxo e vazões. Além disso, o monitoramento de cargas de pressões e de vazões em pontos específicos são algumas das aplicações práticas que podem ser verificadas. Os resultados deste modelo conceitual de fraturas inseridas em um meio poroso fraturado, em geral,

representam com mais realismo o comportamento do fluido nos meios geológicos em comparação a outros modelos conceituais.

O programa FracGen 3D (Telles, 2006) foi usado neste trabalho para gerar fraturas de modo determinístico ou probabilístico. Este programa cria um arquivo com informação relevante relacionado às superfícies e às fraturas geradas. Utilizou-se somente a informação das coordenadas dos pontos vértices das fraturas geradas. Porém, o arquivo gerado contém informações relacionadas a geometrias de superfícies curvas, dados relacionados a poços, aplicação de condições iniciais e de contorno, definições das propriedades dos fluidos e dados de análises numéricas. Algumas destas informações poderiam ser usadas posteriormente para conseguir uma maior utilidade do FracGen, podendo, desta forma, melhorar a ligação do FracGen com o ICEM, além das funcionalidades do sistema de análise desenvolvido.

Na etapa de geração de malha de elementos finitos, usou-se o programa ICEM. As malhas geradas automaticamente pelo programa apresentaram erros, tais como, elementos duplicados, elementos sobrepostos, superfícies de malha com furos, etc. Estes erros tiveram que passar por uma edição e um posterior controle de qualidade. Para minimizar estes erros é necessário agrupar as entidades que foram criadas no ICEM, sob uma prévia eliminação das entidades geométricas repetidas (e as que não seriam úteis) antes de gerar a malha.

No entorno ICEM foram colocadas as condições de contorno do problema e identificados os tipos de material existentes no modelo a resolver. Nesta parte ainda poderia ser feita algumas melhoras nas padronizações, respeito à manipulação das regiões, superfícies e nós.

As aplicações deste trabalho até esta etapa não só poderiam envolver análises de fluxo. A criação de fraturas com o FracGen e a posterior vinculação com o ICEM para gerar malhas para as análises numéricas, permitem também ser aplicadas para problemas na qual possam aparecer descontinuidades no meio em estudo, estudados na mecânica dos solos, mecânica dos materiais, mecânica das rochas e em diversas áreas envolvidas com descontinuidades. Sendo assim, acredita-se este trabalho seja um bom aporte na linha de pesquisa para meios contínuos fraturados.

Para a análise do fluxo utilizou-se o programa FTPF-3D (Telles, 2006), desenvolvido a partir do código fonte SWMS 3D (Šimůnek et al., 1995). As análises feitas apresentam limitações para certo número de elementos finitos, devido à capacidade do computador e a forma de alocação da memória. Outra característica encontrada neste programa é respeito aos métodos iterativo para resolver equações não lineares, este programa contém dois métodos, o método de Picard e o método BFGS. Devido a que estes métodos não conseguem resolver as equações não lineares para todos os casos, então, se deverá implementar algum outro método iterativo no código fonte.

O tempo de computação para as análises vai depender da complexidade da geometria do problema e o do tipo de análise. As geometrias com maiores números de famílias de fraturas demandarão um tempo maior para realizar as análises, tanto para uma análise em condições de regime permanente quanto para transiente. Para um problema de mediana complexidade, o tempo requerido para gerar a geometria, fazer a edição desta, e conformar o problema físico com suas condições de contorno, pode gastar de 2 a 3 dias. Na solução numérica da análise permanente, o tempo requerido é relativamente baixo, podendo ser de 5 a 10 minutos, enquanto que para a fase de análise transiente pode tomar de 3 a 15 dias.

6.2. Sugestões

As sugestões descritas a seguir são referentes a pontos específicos observados na elaboração deste sistema de análise proposto, o qual interliga várias rotinas específicas para cada etapa de análise.

Com relação à ligação do FracGen3D com ICEM CFD, sugere-se:

- Implementar modificações em seu código (que gera o script) para aproveitar as funcionalidades do FracGen, tais como aplicação de condições iniciais, de contorno e de definições das propriedades dos meios.
- Implementar na rotina que gera o script modificações em seu código, para que as famílias de fraturas geradas no FracGen, conservem o mesmo nome e numeração do FracGen quando são criados no

ICEM. Conseguindo assim uniformizaras entidades nestes programas.

Com relação ao manejo do programa ICEM CFD, sugere-se:

- Explorar a identificação de outras formas de geração de domínios e famílias de fraturas na interface ICEM, a partir de superfícies existentes e dados de pontos.
- Explorar outras formas de trabalhar com as condições de contorno, como por exemplo, criar superfícies com dados de níveis de água, de cargas, etc.
- Explorar com maior profundidade a manipulação da edição das malhas de elementos finitos.
- Explorar os outros tipos de arquivos exportáveis de malha de elementos finitos disponíveis no ICEM.
- Desde que esta geração de malhas possa ser aplicada a outros tipos de problemas, como à mecânica de matérias, mecânica dos solos, mecânica das rochas, etc. onde possam aparecer descontinuidades no meio. Nestes casos recomenda-se revisar e implementar modificações no código que gera o arquivo neutral file, segundo as necessidades do problema.

Com relação à geração do arquivo neutral file, sugere-se:

- Fazer implementações adicionais na rotina de programação que gera o arquivo neutral file, para poder utilizar condições de contorno aplicadas a elementos lineares. Por exemplo, no caso de ter condições de contorno aplicadas nos lados de uma fratura.
- Fazer implementações na rotina de programação que gera o arquivo neutral file, para poder utilizar condições de contorno de vazões, níveis de água, ou outras variantes que não foram implementadas neste trabalho.

Em relação à metodologia de análise empregada nesta dissertação, sugestões para trabalhos futuros, são propostas a seguir:

- Realizar análises de fluxo somente com redes de fraturas, isto é, sem considerar o meio poroso, para aproximar-se, assim, a um modelo conceitual de fraturas discretas.
- Realizar análises de transporte de solutos, considerando os mecanismos de advecção, dispersão, difusão, sorção e decaimento.
- Realizar análises de fluxo e transporte de solutos sob três modelos conceituais, um meio equivalente contínuo, um meio de redes de fratura discretas e o modelo misto proposto nesta dissertação. Para determinar e verificar a influência das fraturas e do meio poroso no comportamento hidráulico geral do meio poroso fraturado, relacionado ao fluxo e ao transporte de solutos.
- Realizar uma análise comparativa de resultados usando esta metodologia de análise de fluxo, com resultados obtidos usando o programa Abaqus. O ICEM cria um arquivo de saída com a informação da malha gerada que pode posteriormente ser analisada no Abaqus.
- Fazer comparações desta metodologia de criação de redes de fraturas e análises de fluxo, com programas comerciais como o Connectflow, entre outros.
- Implementar outras condições de contorno, que incluam vazões, precipitação, nível d'água a partir de dados de campo.