

5 Conclusões e sugestões

Este trabalho teve como principal objetivo o desenvolvimento de um sistema integrado para modelagem de fluxo e transporte (soluto e partículas) em meios porosos e fraturados. O sistema é composto de cinco programas computacionais e um módulo desenvolvido no Matlab. Dos programas, dois foram desenvolvidos neste trabalho (FracGen3D e FTPF-3D) e três foram integrados ao sistema (Gocad, MG e Pos3D).

O FracGen3D, é responsável pela geração dos sistemas de fraturas, podendo gerar fraturas determinísticas e famílias de fraturas estatísticas. As características das fraturas estatísticas podem ser geradas segundo distribuições probabilísticas (distribuição uniforme, distribuição exponencial, distribuição normal, distribuição log-normal e distribuição de Fisher) ou com valores constantes. O programa apresenta ainda as seguintes funcionalidades: geração de regiões, geração de poços, importação da geometria de poços, importação de dados de campo relacionados a poços, importação de superfícies, aplicação de condições de contorno de fluxo e de transporte de soluto, aplicação de condições iniciais de fluxo e de transporte de soluto, definição das propriedades do fluido e definição de dados para análise numérica.

O FTPF-3D, desenvolvido a partir do programa SWMS3D, é responsável pela análise numérica, tridimensional, de fluxo e transporte (soluto/partículas) em meios porosos, meios fraturados, meios porosos fraturados (meio poroso e meio fraturado interpostos) e uma combinação entre os meios. O programa utiliza o Método dos Elementos Finitos para resolver as equações governantes, considerando os regimes permanente e transiente, em condições saturadas e não saturadas. Para a solução da não linearidade da equação de fluxo, pode ser utilizado o método de Picard (inicialmente adotado no programa original) ou o método BFGS (implementado neste trabalho). No transporte de solutos, os mecanismos de advecção, dispersão, difusão, sorção e decaimento podem ser considerados.

As implementações computacionais realizadas no programa de análise, relacionadas ao fluxo e transporte de soluto em meios fraturados, foram validadas utilizando o programa SWMS2D. Os resultados de carga de pressão obtidos em todos os testes foram idênticos. O mesmo ocorreu para os resultados de concentração.

O método BFGS também foi validado com o método de Picard, originalmente implementado no programa de análise. Os resultados de carga de pressão obtidos em dois testes realizados foram semelhantes. Deve-se ressaltar, entretanto, que com apenas dois testes comparativos, não é possível avaliar de uma forma mais ampla os métodos aqui discutidos. Novos testes devem ser realizados variando as condições de contorno, condições iniciais, tamanho da malha e os parâmetros de fluxo.

Nove exemplos numéricos foram apresentados para demonstrar o sistema desenvolvido. Um dos exemplos avaliou a capacidade do programa FracGen3D no que diz respeito ao número de fraturas geradas. Neste exemplo, foram geradas 60 famílias de fraturas aleatoriamente, totalizando 2738 fraturas.

Os outros exemplos apresentaram resultados de análises numéricas de fluxo e transporte (soluto e partículas), realizadas em condições saturadas e não saturadas, e em meios porosos, fraturados e porosos fraturados.

Em um dos exemplos o método de Picard não pôde ser utilizado, pois não conseguiu atingir a convergência. Neste caso, o método BFGS foi adotado. Por outro lado, em um outro exemplo, o método BFGS não alcançou a convergência, sendo necessária a utilização do método de Picard. Estes fatos mostram a vantagem e necessidade de se ter mais de um método implementado no programa.

Em exemplos onde um dos métodos não consegue alcançar a convergência pode-se utilizar o outro.

Como conclusão final pode-se dizer que os exemplos analisados mostraram a grande influência das fraturas no regime de fluxo do sistema. Este fato mostra a importância de se considerar tais descontinuidades em estudos que envolvam fluxo em meios porosos e fraturados.

Em relação ao sistema desenvolvido, este apresentou resultados bastante interessantes, sendo possível a sua utilização em modelagens hidrogeológicas, onde o meio fraturado está inserido. Pode também ser utilizado para visualização de sistemas de fraturas e para na análise de fluxo em reservatórios de petróleo.

Como propostas para trabalhos futuros, relacionados ao gerador de sistemas de fraturas, sugere-se:

- Implementar a opção de importação de dados relacionados ao nível d'água, que podem ser utilizados como condições iniciais de fluxo;
- Implementar um módulo para criação de poços de observação utilizados para verificar a eficiência da geração das fraturas, através de comparação com dados de poços reais;
- Implementar a geração aleatória do espaçamento entre as fraturas;
- Implementar novas metodologias para geração estocástica de famílias de fraturas;
- Implementar a opção para geração de fraturas com forma elíptica;
- Considerar a variação da abertura em uma única fratura;
- Gerar fraturas de forma aleatória a partir de fraturas observadas no campo;
- Representar graficamente projeções estereográficas; e
- Implementar a opção que permite transformar os modelos conceituais que descrevem o fluxo em meios porosos e fraturados. Ou seja, poder transformar o MFD em MPE.

Em relação ao programa de análise, as seguintes sugestões são feitas:

- Implementar o fluxo multifásico;
- Mudar o módulo de trajetória de partículas, permitindo que em um ponto de interseção uma partícula mãe seja dividida em n filhas e que essas filhas possam seguir caminhos diversos de fluxo;
- Implementar novos modelos de biodegradação, como por exemplo, o modelo de reação instantânea e o modelo de Monod, para o estudo de contaminação por produtos orgânicos;
- Implementar o acoplamento mecânico, possibilitando assim, a realização de análises mais realistas de problemas em reservatórios de petróleo;
- Implementar técnicas de processamento em paralelo para viabilizar a criação de modelos grandes; e

- Realizar novos testes comparativos entre os métodos BFGS e Picad.