

## 7

### Conclusões e sugestões para trabalhos futuros

Nesse capítulo são apresentadas as conclusões do estudo realizado e algumas recomendações para trabalhos futuros com base nos resultados obtidos e as análises realizadas no Capítulo 5.

#### 7.1. Conclusões

Foram estudados, implementados e avaliados dois modelos numéricos consistentes para a solução do problema de fluxo de dois fluidos imiscíveis incompressíveis em meio porosos. Isso foi decorrente da tentativa de contornar as instabilidades encontradas pelos métodos clássicos de solução do problema, relatadas na literatura.

Os dois métodos foram analisados em quatro exemplos discutidos no capítulo anterior, e, conforme as discussões de resultados, apresentam-se adequados aos fins de engenharia ao cumprir os objetivos de conservação de massa e adequada captura de frente de saturação.

O Método EF-GD combinou o método dos elementos finitos clássico, EF, com o método dos elementos finitos descontínuos, MEFD. Esse sistema consiste de uma equação da pressão, resolvida pelo EF, um pós-processamento da velocidade por elemento através da utilização das funções de Raviart-Thomas de mais baixa ordem, e a solução da equação da saturação, via MEFD, com a formulação IMPES, cuja equação da pressão é discretizada temporalmente pelo método implícito e a equação da saturação pelo método explícito. Os resultados encontrados com a utilização desse método mostram-se adequados no que se refere à captura da frente de saturação. O balanço de massa da formulação foi calculado de modo que foram encontradas baixas porcentagens de erros relativos, o que confirma que a formulação é conservativa. A utilização da técnica de pós processamento utilizada venceu as limitações mencionadas na literatura, devido as

suas características apresentadas no item 4.3, mostrando-se satisfatória à aplicação em meios heterogêneos e fraturados.

A formulação proposta pelo Método EF-GD agrega as vantagens dos EF clássico e do MEDF, pela possibilidade de utilização da mesma malha do EF, embora necessitando de uma interpolação espacial, via Raviart-Thomas, para a captura de frente de saturação do MEDF. Os exemplos analisados e os resultados encontrados sugerem uma boa aproximação com os apresentados na literatura.

O Método EFH-GD, também estudado por Hoteit e Firoozabadi (2008), combina o método dos elementos finitos mistos hibridizado, EFH, para aproximar as pressões e MEFD para resolver as saturações. Essa formulação produz soluções físicas adequadas a problemas em meios heterogêneos e supera as deficiências da formulação de fluxo fracionário e dos elementos mistos, ao trabalhar com uma matriz simétrica definida positiva. Os resultados mostram boas características de captura de frente de saturação, além de obter baixos erros relativos no balanço de massa, o que indica que o método é conservativo. Os exemplos implementados para ambos os métodos sugerem que as formulações estudadas apresentam-se como uma boa ferramenta para aplicação a casos reais.

Vale ressaltar que todos os exemplos estudados negligenciaram os efeitos gravitacionais e os causados pela pressão capilar. Isso foi decorrente de uma simplificação do problema, pois a inclusão desses termos deixaria a formulação em EF-GD não linear, aumentando a complexidade do problema. Esse problema de não linearidade não acontece no método EFH-GD, devido ao processo de hibridização de modo que a variável principal passa a ser o potencial nas faces dos elementos. Nos trabalhos em andamento a parcela relativa a pressão capilar já está sendo incluída e também desenvolvidos estudos para a linearização do sistema do método EF-GD.

É importante ressaltar que a completa implementação do algoritmo limitador de inclinação não havia sido concluída de forma adequada até a finalização desse texto, de modo que a simplificação implementada foi necessária ao prosseguimento dos estudos. Apesar da simplicidade conceitual utilizada, observou-se que o método conserva massa e fornece resultados muito próximos aos apresentados na literatura. No entanto, é importante frisar que o uso adequado desse limitador de inclinação potencializaria os resultados tornando o método mais preciso, pois, genericamente em 2D a ausência de implementação de um

limitador de inclinação adequado, pode ter sido responsável pelo significativo aumento de erros relativos e instabilidades iniciais em relação a conservação de massa.

## **7.2. Sugestões para trabalhos futuros**

Inicialmente, sugere-se a implementação completa do algoritmo limitador de inclinação nas programações em MEFD.

Considerando a potencialidade do método EF-GD estudado sugere-se para trabalhos futuros a implementação considerando os efeitos gravitacionais e de pressão capilar, pois os exemplos apresentados negligenciaram esses efeitos. Sugere-se ainda a implementação em meios altamente fraturados.

Sugere-se também o desenvolvimento de uma formulação em que o acoplamento mecânico do meio poroso se faça presente, bem como uma análise em 3D.