

1 Introdução

1.1. Relevância e Motivação

O aumento do consumo energético no Brasil previsto para os próximos anos reforça a necessidade de expansão da matriz energética e aumento de produção de petróleo que atenda ao mercado brasileiro. Com este intuito aplicam-se técnicas para aumentar ou mesmo manter a pressão original dos campos de petróleo. A injeção de água em reservatórios através de poços injetores e a injeção de gás em colunas de produção são métodos utilizados com frequência visando o aumento na produtividade.

Durante os processos de injeção e injeção em reservatórios de petróleo, existe um grande risco de perda do selo das discontinuidades geológicas como as falhas, constituindo uma das situações mais críticas na indústria de petróleo. As variações das tensões induzidas pela produção e injeção podem ser suficientemente altas para reativar as falhas e modificar significativamente o comportamento do reservatório. Evidências mostram que o transporte de fluidos de reservatórios através de uma falha está ligado aos incrementos de deslizamento desta (Sibson, 1990). Estas evidências incluem sismos induzidos pelos processos de injeção e recuperação de petróleo (Healy et al., 1968; Raleigh et al., 1976; Paul et al., 1996).

Os processos de depleção de hidrocarbonetos podem provocar deslizamentos nos planos de falha pré-existentes devido à diminuição da poropressão que causa a contração das rochas do reservatório (Segall et al, 1985, 1989, 1992). A queda de poropressão altera o estado de tensões na rocha e no plano de falha. Quando o estado de tensões do plano de falha é suficientemente perturbado as falhas reversas próximas ao reservatório podem deslizar e reativar, enquanto a reativação nas falhas normais ocorre próximo dos bordos do reservatório (Figura 1.1). Nesta situação, a permeabilidade da falha aumenta e seu selo longitudinal se rompe mesmo que a falha tenha sido selada por processos de deformação ou justaposição lateral (Sibson, 1990; Zhang et al., 1996; Pereira et al., 2010; Nacht et al., 2010).

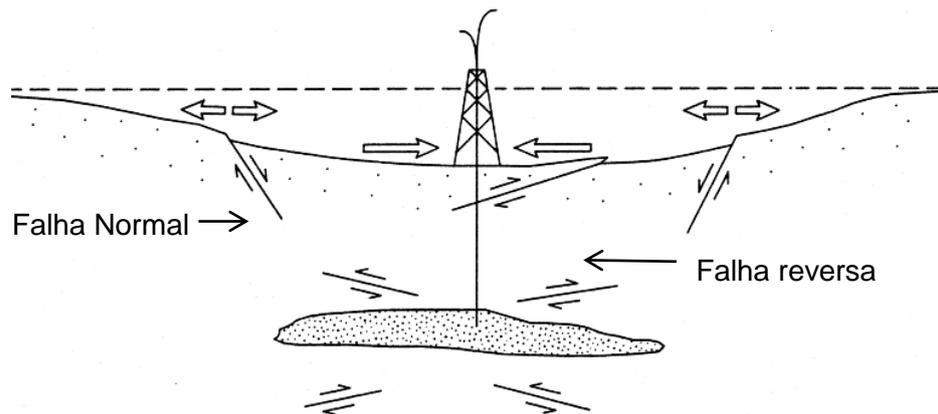


Figura 1.1 – Falhas associadas com a produção do fluido (Segall, 1989)

No processo de reativação de falhas a integridade mecânica inicial é um fator relevante. Quando a reativação de uma falha é desencadeada a pressão do reservatório pode migrar para profundidades rasas comprometendo consideravelmente a integridade de todo o plano de falha. Nesta situação, as falhas podem se tornar canais de passagem para o hidrocarboneto (Sibson, 1990), ou seja, ocorra exsudação fazendo com que, nos casos mais críticos, haja escape para a superfície. Alguns estudos realizados sobre escape de fluido em falhas são Timor Sea, Northwest Shelf, Austrália (Gartrell et al, 2003), South Eugene Island 330 field, northern Gulf of México (Finkbeiner et al., 2001) e East Coast of Trinidad (Heppard et al., 1998). Outros possíveis danos causados pela reativação de falhas são: instabilidade de poço; colapso do revestimento de poços por cisalhamento; escape de fluidos para outras camadas porosas e subsidência severa.

Com o objetivo de mitigar o risco de exsudação, diversos estudos abordam a modelagem geomecânica das alterações nos estados de tensões ocasionados pelos processos de exploração e produção utilizando diferentes métodos (Segall et al., 1989; Finkbeiner et al., 1997; Castillo et al., 2000; Chanpura et al., 2001; Charlier et al., 2002; Rutqvist et al., 2007; Fouladvand et al., 2009). Nesse cenário a PUC-Rio também desenvolve estudos na simulação geomecânica de reservatórios de petróleo com falhas geológicas (Mendes et al., (2010); Pereira et al., 2010; Nacht et al., 2010; Righetto, 2012). O grupo de Geomecânica Computacional do laboratório Tecgraf da PUC-Rio em parceria com a PETROBRAS realizam simulações para reproduzir o efeito da injeção e da depleção nas rochas dos reservatórios e investigar o impacto subsequente na integridade estrutural das rochas capeadoras e nas falhas geológicas. No

referido estudo, as análises de acoplamento geomecânico são realizadas pelo simulador de elementos finitos AEEPECD® (Costa, 1984).

1.2. Objetivos e metodologia

O objetivo principal desta dissertação é estudar o problema de reativação de falhas em reservatórios de petróleo durante os processos de produção, utilizando o simulador de elementos finitos Abaqus® (Abaqus *documentation*, 2011). Para atingir este objetivo foi necessário estabelecer os seguintes objetivos secundários:

- Estudar as diferentes técnicas para análises de reativação de falhas.
- Programar rotinas para criar elementos especiais governados pelo modelo de Mohr-Coulomb para representar de forma aproximada o comportamento da falha.
- Desenvolver uma metodologia no Abaqus para calcular limites seguros de pressões durante os processos de produção.
- Validar a metodologia desenvolvida.

1.3. Estrutura da dissertação

Este trabalho está estruturado em 6 capítulos, incluindo esta introdução como Capítulo 1.

No Capítulo 2, apresentam-se os critérios utilizados na estimativa da máxima pressão de injeção em reservatórios e sumarizam-se as formulações comumente empregadas nesse tipo de problema. Em particular, discutem-se algumas das técnicas numéricas recorridas para considerar as descontinuidades geológicas em problemas discretos.

No Capítulo 3, apresenta-se a formulação em deslocamentos do método dos elementos finitos para o estado plano de deformação, detalhando os modelos constitutivos utilizados no plano de falha bem como os algoritmos de integração de tensão empregados. Apresenta-se também a formulação do elemento de interface de 6 nós com interpolação quadrática.

No Capítulo 4, apresenta-se a metodologia desenvolvida para estimar a máxima pressão de injeção no reservatório com descontinuidades geológicas empregando o simulador Abaqus®. Esta metodologia é validada através da comparação de resultados de um modelo sintético com falha normal simulado pelo programa AEEPECD® (Costa, 1984).

No Capítulo 5, aplica-se a metodologia em um modelo com plano de falha inclinado a 80° e em um caso de estudo real apresentado na literatura, ressaltando seu grande potencial para futuras análises. Além disso, faz-se uma comparação dos resultados dos modelos com plano de falha com os resultados dos modelos com zona de falha utilizando representação discreta e distribuída respectivamente.

Finalmente, o Capítulo 6 apresenta as principais conclusões desta dissertação e também algumas sugestões para pesquisas futuras nesta área.