

1 Introdução

1.1. Descrição do problema

Antes da perfuração, as tensões atuantes na formação rochosa estão em um estado de equilíbrio. Logo após a execução do poço, o fluido de perfuração substitui o material escavado e provê suporte à parede, ocorrendo então uma redistribuição de tensões ao redor do poço. Para um tempo qualquer, a instabilidade é controlada pela relação entre o estado de tensões do poço e a resistência da rocha ou pela interação rocha-fluido de perfuração.

Sendo a resistência dos folhelhos diretamente relacionada com a variação da pressão de poros, e considerando que a mudança dela altera o estado das tensões efetivas da formação, o estudo do movimento do fluido nos poros constitui uma ferramenta para entender os mecanismos geradores da instabilidade do poço. Conseqüentemente, para um eficiente controle da estabilidade neste tipo de rochas, os mecanismos de instabilidade dominantes (os quais dependem do tipo de folhelho, do ambiente de tensões *in situ* e de fluido de perfuração, dentre outros) devem ser levados em consideração.

A experiência operacional indica que os problemas de instabilidade em rochas argilosas tendem a aumentar à medida que o poço se torna inclinado e quando a perfuração é realizada com fluidos base água. Além disto, a perfuração de poços mais profundos (cuja média aparece na faixa dos 3000 m a 5000 m de profundidade) aumenta o tempo de exposição da rocha ao fluido de perfuração, necessitando-se um maior conhecimento do comportamento dos folhelhos quando em contato com o fluido de perfuração.

1.2. Motivação da Pesquisa

Os problemas na perfuração associados à instabilidade do poço são geralmente agravados quando camadas de folhelho são atravessadas, as quais constituem mais do 75% das rochas perfuradas no mundo (Steiger & Leung, 1992). Estes casos de instabilidade têm sido reportados há varias décadas, onde as pesquisas realizadas mostram a relação direta com a quantidade de tempo perdido e custos extras na perfuração.

É geralmente aceito que o dano da formação argilosa é causado principalmente pela interação rocha-fluido de perfuração, devido à mudança na composição química do fluido nos poros provocada pelo filtrado. O folhelho, quando submetido às tensões *in situ*, pode atuar como um sistema de membrana semipermeável (barreira que permite o transporte de alguns componentes de uma solução e não de outros) através de repulsões elétricas e/ou restrições por causa do tamanho de poros. O efeito membrana e o conseqüente desenvolvimento de pressões osmóticas ao redor do poço desempenham um papel fundamental no balanço das forças que instabilizam a rocha. A opção mais efetiva para resolver os problemas de instabilidade e dano à formação é projetar um fluido de perfuração quimicamente compatível com a formação (Azizi *et al.*, 1998). Daí a importância de avaliar a influência do sal na interação rocha-fluido a fim de esclarecer a extensão do seu efeito em folhelhos.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho é avaliar a estabilidade do poço como função das propriedades do fluido de perfuração base água (*WBM*) e do fluido da formação, levando em conta a diferença entre os seus potenciais hidráulico e químico, para compreender a importância do tipo de fluido na estabilidade. Para isso, será utilizado um modelo computacional desenvolvido pelo Grupo de Tecnologia em Engenharia de Petróleo (GTEP) da PUC-Rio, baseado na teoria da

poroelastoplasticidade com formulação numérica pelo método dos elementos finitos.

1.3.2. Objetivo Especifico

Estudar e analisar o efeito membrana e o comportamento osmótico do sistema folhelho-fluido de perfuração através de simulações variando os parâmetros de eficiência de membrana do folhelho (chamado também de coeficiente de reflexão, o qual provê informação sobre a mobilidade relativa do solvente e partículas de soluto através da membrana semipermeável que o folhelho constitui) e a concentração de sal do fluido de perfuração para diferentes cenários. A modelagem faz uma estimativa das conseqüências do uso do cloreto de cálcio como aditivo do fluido de perfuração.

Através de casos reportados na literatura e de ensaios de laboratório, serão determinados os parâmetros de entrada do modelo necessários para simular as diferentes condições que o programa oferece.

1.4. Escopo

No Capítulo 2 são descritas as condições existentes ao redor do poço: as características da formação rochosa envolvida, as forças de origem mecânica e físico-química atuantes e seus efeitos na instabilidade. São apresentados os tipos de instabilidade decorrente da perfuração do poço, os mecanismos de ruptura relacionados com o fluido de perfuração utilizado e os mecanismos de transporte, dentro dos quais são ressaltados aqueles que comandam o comportamento do folhelho. Também são discutidos os aspectos que definem o fluido de perfuração base água (*WBM*) como menos eficaz para oferecer estabilidade quando comparado com o fluido de perfuração base óleo, e os fatores que contribuem para o aumento de sua eficiência.

O Capítulo 3 contém os aspectos referentes à modelagem da estabilidade de poços em folhelhos. Apresenta uma revisão dos métodos usados na análise de estabilidade e os critérios envolvidos na escolha do modelo para conseguir uma reprodução eficiente dos problemas de instabilidade do poço.

Posteriormente, são compilados os modelos desenvolvidos na literatura incluindo o efeito químico. Estes modelos de estabilidade de poço são descritos levando em conta os parâmetros requeridos, equações governantes e tipos de resultados obtidos. Finalmente é mencionado sucintamente o modelo utilizado como ferramenta de análise neste trabalho.

A formulação utilizada pelo modelo aplicado para tratar o problema de fluxo de fluido através de um meio poroso deformável e saturado é apresentada no Capítulo 4. A teoria da poroelasticidade de Biot (1941) é tomada como base para o desenvolvimento das equações que descrevem o comportamento hidromecânico do material. É discutida a adoção de um modelo de plasticidade com lei de fluxo não associada, com o qual é aplicado para avaliar o dano mecânico sofrido pelo material, caracterizado pela expansão volumétrica plástica. A solução numérica desenvolvida é formulada através das equações de conservação de fluxo de fluido e massa de soluto, e as equações que refletem o comportamento mecânico da rocha.

No Capítulo 5 são apresentadas as etapas utilizadas para modelar o comportamento do folhelho frente ao fluido de perfuração base água, trabalhando com as variáveis de eficiência de membrana e concentração do sal. É feita uma avaliação do programa FPORO-3D em três etapas: *i)* simulação de experimentos, onde é mostrada a coerência das curvas obtidas em ensaios de laboratório e as modeladas com o FPORO 1D; *ii)* propriedades físico-químicas, onde são estimados os seus parâmetros; e *iii)* a simulação propriamente dita, com o objetivo de determinar os tipos de saídas que o programa FPORO 3D oferece, e estabelecer outros critérios no estudo a efetuar (marco temporal, discretização do tempo, tipo de análise a ser efetuada).

No Capítulo 6 estão apresentados os resultados obtidos das simulações numéricas realizadas com o programa, para os diferentes cenários adotados. Uma análise das diferentes situações é apresentada posteriormente.

Por fim, no Capítulo 7, são apresentadas as conclusões e sugestões para futuros trabalhos.