

7

Conclusões e Sugestões para Trabalhos Futuros

7.1.

Conclusões

Desenvolveu-se neste trabalho um equipamento capaz de simular as condições de pressão *in-situ* e uma metodologia adequada para realizar e analisar ensaios de interação folhelho-fluido de perfuração. Ensaios neste equipamento permitem obter os parâmetros de transporte da rocha, necessários numa análise de estabilidade que considere os efeitos provocados por gradientes hidráulicos e químicos. Pode-se dizer com isso que o objetivo principal da tese foi alcançado.

O equipamento desenvolvido é versátil e permite a realização da etapa de saturação, por confinamento ou contrapressão, de forma adequada, o que normalmente não acontece nos ensaios apresentados na literatura. Ensaios de interação folhelho-fluido de perfuração em corpos de prova não saturados e/ou a condições de pressão atmosférica, podem levar a resultados diferentes daqueles realizados sob as condições de pressão no campo.

O programa Fporo utilizado para análise dos resultados mostrou-se eficiente e apropriado, constituindo-se uma ferramenta fundamental na determinação dos parâmetros de transporte. A sua versatilidade, permitindo o uso de diferentes situações de carregamento e variação de concentrações, possibilitou uma retroanálise adequada dos ensaios realizados.

Os parâmetros obtidos nos ensaios são coerentes e estão dentro da faixa de valores apresentada na literatura. Resultados semelhantes aos obtidos em trabalhos anteriores, como o aumento da pressão osmótica com o aumento da concentração salina, a desidratação do folhelho e a maior velocidade de difusão do cloro em relação ao cálcio, também foram observados.

O sensor a base de fibra óptica desenvolvido, destinado a medidas de concentração em ambientes confinados e pressurizados, onde não é possível a retirada de amostras para realização de análises químicas, apresenta bons resultados quando somente um tipo de sal estiver envolvido no processo. Nos

ensaios em folhelhos onde encontram-se diferentes íons no reservatório de medida, a análise da fibra óptica fornece um valor da concentração total e não a de um sal específico. Desta forma, contrariamente ao objetivo inicial, a variação de concentração do reservatório inferior, obtida pela fibra óptica, não serviu de base para o ajuste dos parâmetros de difusão utilizando o programa Fporo. Estes parâmetros foram ajustados considerando a concentração obtida pelas análises químicas realizadas no fluido presente no reservatório da base.

A realização de ensaios adicionais, como o ensaio de sorção, é importante pois reduz o número de variáveis a serem estimadas nas análises com o programa Fporo. O ensaio de sorção realizado no folhelho B-S, utilizando as isothermas Linear, de Langmuir e de Freundlich, apresentaram um coeficiente de retardamento para soluções de CaCl_2 de 1,03.

7.2. Sugestões para Trabalhos Futuros

Esta tese é resultado de grande esforço e dedicação investidos nestes quatro anos de pesquisa, e como todo trabalho, vários obstáculos foram vencidos ou contornados permitindo a conclusão do mesmo em tempo hábil. O equipamento, a metodologia de ensaios e análises desenvolvida, dentro das limitações do presente estudo, foram fundamentais para os bons resultados obtidos neste trabalho. Entretanto, a seguir são apresentadas algumas sugestões para trabalhos futuros e aprimoramento do equipamento e da metodologia de ensaios e análise proposta.

Modificações e melhorias sugeridas para o equipamento e os ensaios de difusão.

- O desenvolvimento e construção de novas interfaces é crucial para a realização de ensaios a maiores níveis de pressão. Esta é sem dúvida a primeira providência a ser tomada no que diz respeito à melhoria do equipamento.
- É interessante construir outra célula otimizando o projeto original de forma a reduzir o tamanho dos reservatórios adaptando mini-transdutores de pressão e, também, reduzindo o peso da mesma, através

do seu redimensionamento e/ou modificação do material de construção (aço, alumínio, titânio). A construção de uma reação adequada para utilização da mesma também se faz necessária.

- A melhoria da instrumentação utilizada é desejável para fornecer dados adicionais na avaliação da interação folhelho-fluido de perfuração. Instrumentos como: transdutores e mini-transdutores de pressão com maior capacidade para simular as condições de pressão a grandes profundidades; transdutores de deslocamento interno para medidas de deformação do corpo de prova dentro da célula de difusão, úteis no estudo de expansão (swelling) e termopares para monitoramento de temperatura, podem aumentar em muito o potencial do equipamento e dar mais subsídios para o entendimento dos processos de interação fluido-folhelho.
- Algumas modificações já realizadas, como a utilização de um novo sistema de aquisição de dados composto de um condicionador de sinais, uma placa de 16 bits e a utilização do software Labview, são mais um ponto positivo para o ensaio. A nova placa de aquisição, ao contrário da anterior de 8 canais, possui um multiplexador e pode ler até 32 canais simultaneamente, além de possuir 2 canais de saída para controle de instrumentos.
- O autor acredita que a utilização de um destes canais de saída, juntamente com o GDS e o Labview, pode viabilizar a realização de ensaios de difusão com aplicação de força axial sem que esta varie com a pressão confinante ou a poropressão, como ocorre atualmente. Isto pode ser obtido fazendo-se um sistema servo-controlado fechado, utilizando-se a célula de carga como sinal de controle. Ou seja, o sistema de aquisição recebe a leitura da força na célula de carga, converte este valor em pressão e compara com o valor da pressão axial adotado para o ensaio. Se o valor de pressão lido for diferente do especificado, o Labview envia um comando para o GDS que aumenta ou diminui a pressão sobre a célula de carga, de forma a manter a pressão axial adotada no corpo de prova.

- Se o procedimento sugerido acima apresentar resultados satisfatórios, o equipamento poderá ser facilmente preparado para obter o coeficiente de adensamento do corpo de prova, utilizando para isto a metodologia proposta por Head, (1996). Para que isto seja possível, basta substituir a tela metálica e o geotêxtil atualmente utilizados como dreno no topo do corpo de prova por um dreno rígido de aço sinterizado.
- A válvula de alívio, responsável pela manutenção da contrapressão no topo do corpo de prova apresentou resultados satisfatórios mas, como pôde ser observado, em alguns ensaios a contrapressão variou significativamente. Desta forma, uma válvula de contrapressão mais precisa que a válvula de alívio foi adquirida e testada com sucesso para pressões acima de 5 MPa. Entretanto, para pressões menores, que é o caso dos ensaios realizados até o momento, esta válvula não apresentou bons resultados. Quando o equipamento estiver apto a realizar ensaios a um maior nível de pressão, com certeza esta válvula de contrapressão será utilizada em substituição a válvula de alívio.
- Um trabalho interessante para o futuro, seria a construção de uma nova célula de difusão adaptada a uma estufa, de modo a simular também as condições de temperatura existentes no campo.
- Com relação às medidas de concentração, é conveniente investir no desenvolvimento de um sensor de condutividade adequado para altas pressões e que possa ser adaptado à célula de difusão. A obtenção da variação de concentração salina no reservatório inferior ao longo do ensaio em folhelho, pode dar mais credibilidade ao coeficiente de difusão estimado na retroanálise do ensaio.

A seguir são apresentadas algumas sugestões para modificações e melhoria do programa Fporo, destinado a retroanálise do ensaio e estimativa dos parâmetros de transporte.

- O primeiro passo consiste em se preparar uma interface gráfica amigável que facilite a análise dos ensaios de difusão, já que atualmente encontra-se disponível somente o executável do programa.

- Outra melhoria seria a compatibilização do arquivo neutro do Mtool (programa onde se faz a malha de elementos finitos) com o arquivo de entrada do Fporo. A prática atual é muito trabalhosa, consistindo na cópia dos pedaços que interessam do arquivo neutro e colagem no arquivo de entrada do Fporo.
- Uma terceira modificação importantíssima, que está em andamento e que pode trazer grandes benefícios na estimativa de parâmetros, é a criação de uma rotina de otimização para o programa Fporo, nos moldes da realizada por Velloso (2000) na estimativa de parâmetros hidráulicos em solos parcialmente saturados. Desta forma, o programa executará várias interações até obter uma combinação de parâmetros que melhor represente as curvas experimentais. Nesta rotina, o programa poderá otimizar até dez parâmetros simultaneamente, até apresentar o resultado ótimo, sem a necessidade de confecção de gráficos e avaliação do resultado a cada interação, como se faz atualmente.
- Como última sugestão, seria interessante a melhoria do próprio código do programa, de forma a possibilitar a análise de vários sais simultaneamente. Desta forma, seria possível a avaliação de fluidos similares aos fluidos reais de perfuração que contem viscosificantes, alcalinizantes, reguladores de pH, etc.

A seguir apresenta-se alguns estudos interessantes para trabalhos futuros

- Realizar ensaios em diferentes folhelhos, como foi o caso desta pesquisa, mas com um maior número de corpos de prova para melhor entender os mecanismos de interação rocha-fluido.
- Realizar ensaios em soluções com dois ou mais tipos de sal, de forma a avaliar proporções que apresentem um melhor efeito estabilizador.
- Avaliar o efeito da anisotropia nos parâmetros de transporte, ensaiando sob mesmas condições corpos de prova amostrados paralelamente e perpendicularmente aos planos de acamamento do folhelho.
- Realizar ensaios com uma solução salina padrão e avaliar a pressão osmótica para diferentes comprimentos e diâmetros de corpos de prova.