

1 Introdução

1.1. Relevância e Motivação do estudo

A partir da exploração de petróleo em águas profundas, a indústria do petróleo tem descoberto diferentes campos de petróleo em águas profundas, e ultra-profundas, localizados em vários lugares ao redor do mundo. Muitos desses campos de petróleo estão caracterizados pela presença de estruturas de sal (De Loczy *et al.*, 1976). Pelas características de baixa porosidade e permeabilidade, essas estruturas salinas formam selos no subsolo e que, por sua vez, formam trapas de petróleo. A Figura 1.1 mostra os principais depósitos de sal no mundo.



Figura 1.1 – Principais depósitos de sal no mundo (em vermelho) (Cruz *et al.*, 2007).

Do ponto de vista de exploração de petróleo, a presença de rochas salinas na área de exploração aumenta as chances de sucesso exploratório. Isto decorre do fato, já conhecido desde os primórdios da indústria do petróleo, de que esses sedimentos podem se deformar, dissolver, migrar, criar estruturas e trapas estratigráficas, gerando diversas estruturas propícias à acumulação de hidrocarbonetos (Figura 1.2). Além desses fatores, as rochas salinas formam selos quase perfeitos para acumulações abaixo deles. Sua presença em bacias sedimentares tem um importante significado econômico, tanto na fase de interpretação exploratória quanto na de perfuração de poços, uma vez que eles apresentam características mecânicas distintas das rochas siliciclásticas e carbonáticas. Todavia, do ponto de vista operacional, a perfuração dessas rochas está associada a um grande número de problemas de estabilidade de poços, quando comparado com outras litologias (Mohriak *et al.*, 2009).

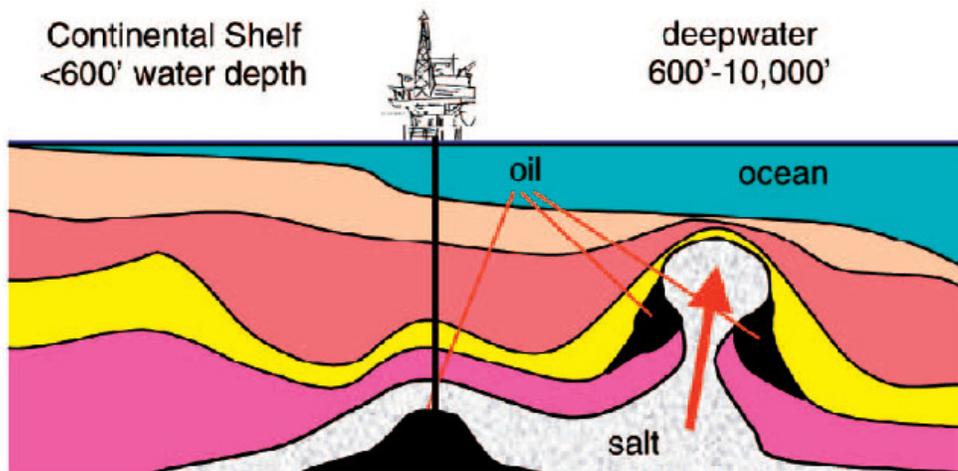


Figura 1.2 – Movimento do sal e a formação de trapas de petróleo (Crossno, 2005).

A presença de estruturas de sal em torno de reservatórios de petróleo cria diferentes tipos de riscos geomecânicos durante a perfuração de poços (Wilson & Fredrich, 2005; Romo *et al.*, 2007; Cullen *et al.*, 2010). Esses riscos podem estar localizados dentro das estruturas do sal, na interface das estruturas de sal com as rochas adjacentes e fora da estrutura do sal, como apresentado esquematicamente na Figura 1.3.

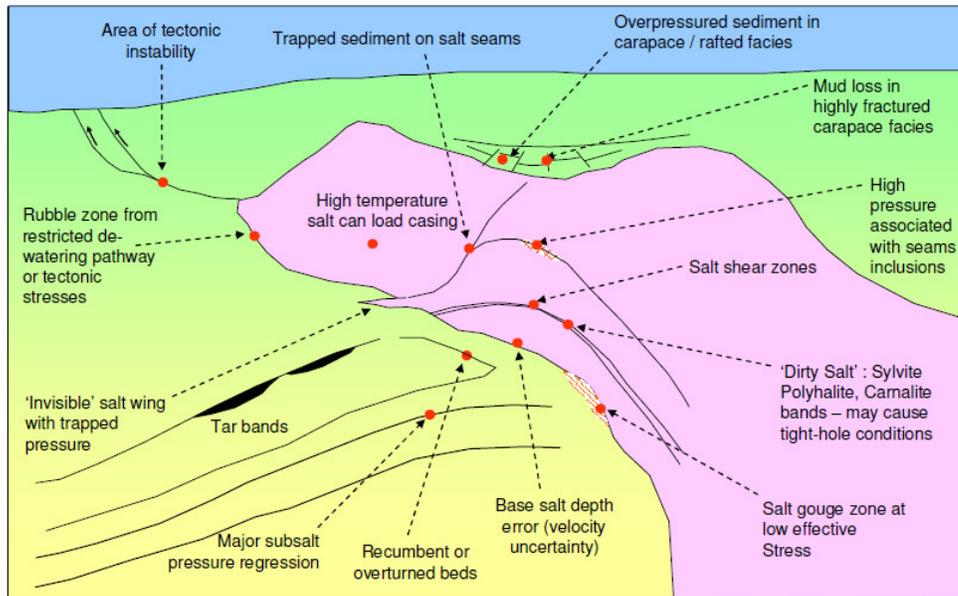


Figura 1.3 – Riscos geomecânicos durante a perfuração de poços associados a ambientes com presença de estruturas de sal (Wilson & Fredrich, 2005).

As estruturas salinas no subsolo tem a capacidade de perturbar as tensões *in situ* originalmente existentes na bacia sedimentar, fazendo com que aconteça a rotação das tensões principais em torno dessas estruturas, bem como a mudança na magnitude dessas tensões.

Deste modo, a fim de reproduzir o estado de tensões *in situ* atual em torno de certa estrutura salina, tem sido empregadas diversas técnicas numéricas baseadas no método dos elementos finitos.

1.2. Objetivo e Metodologia

O objetivo principal deste trabalho é transferir tensões de um determinado *modelo global*, construído por meio do método dos elementos finitos, para uma determinada *subestrutura* utilizando técnicas de transferência de tensões, para posteriormente calcular a janela operacional de poço acoplando os resultados de tensões da modelagem numérica com as equações elásticas que descrevem a distribuição de tensões atuantes ao redor de um poço (Fjaer *et al.*, 2008).

Para atingir o anterior objetivo, foram estabelecidos os seguintes objetivos secundários:

a) Compor uma revisão bibliográfica a respeito de aspectos geológicos e geomecânicos de estruturas de sal no subsolo, salientando suas características fundamentais para posterior consideração no modelo numérico.

b) Compor uma revisão bibliográfica sobre aspectos de engenharia de perfuração associados com a perfuração em zonas com presença de estruturas de sal para entender os problemas que acontecem durante a perfuração dentro e em torno do sal.

c) Realizar uma revisão bibliográfica sobre o panorama da modelagem numérica em elementos finitos de estruturas de sal.

d) Identificar na literatura a utilização de técnicas de modelagem numérico-analítica, onde sejam acoplados os resultados numéricos de tensões *in-situ* de um *modelo global* dado com as equações elásticas para propósitos de estabilidade de poços. Adicionalmente, identificar na literatura casos nos quais foram realizados estudos de submodelagem em elementos finitos na área da engenharia de petróleo, tendo especial interesse nos estudos de estabilidade de poços de petróleo.

c) Criar um *modelo global*, considerando uma geometria idealizada de uma estrutura de sal aliado com a modelagem numérica no programa Abaqus, onde será estabelecido um campo de tensões *in situ* no *modelo global* após um processo de fluência no sal.

d) Através do uso de *técnicas de transferência de tensões*, transferir tensões do anterior *modelo global* para uma determinada *subestrutura* de interesse. O termo *subestrutura* é entendido como uma curva no espaço que representa uma seção ou trajetória completa de um poço de petróleo. Na *subestrutura* de interesse é estabelecida a janela operacional de um poço de petróleo para vários cenários hipotéticos de perfuração, através da modelagem analítica baseada em equações elásticas (Fjaer *et al.*, 2008).

e) Visando realizar futuros estudos numéricos de *submodelagem* relacionados com estabilidade de poços, neste trabalho são empregadas as *técnicas de transferência de tensões* mencionadas anteriormente para transferir tensões de um *modelo global* para diferentes *submodelos* localizados em diferentes lugares dentro do *modelo global*. O termo *submodelo* é entendido neste caso como uma malha de elementos finitos de um tamanho menor e com um nível de refinamento maior em relação ao *modelo global*.

1.3. Organização da Dissertação

Com a finalidade de apresentar este trabalho, o mesmo foi dividido em seis capítulos e um apêndice, sinteticamente, descritos a seguir.

- O Capítulo 1 apresenta uma introdução ao tema de pesquisa em questão, ressaltando a importância do tema na indústria do petróleo.

- O Capítulo 2 expõe uma revisão bibliográfica sobre conceitos relacionados aos aspectos geológicos e geomecânicos do sal, onde serão apresentados os efeitos do movimento de estruturas salinas sobre as geopressões no subsolo, e as consequências que traz essa perturbação de tensões na área da engenharia de perfuração de poços de petróleo. Também serão apresentados um panorama geral da modelagem numérica com elementos finitos para estimativa de tensões em torno de estruturas de sal, assim como também um panorama da modelagem *numérico-analítica* de estabilidade de poços onde são utilizadas os resultados de tensões da modelagem numérica e posteriormente as equações elásticas que descrevem a distribuição de tensões atuantes ao redor de um poço (Fjaer *et al.*, 2008) para determinar analiticamente a janela operacional de um poço de petróleo. Adicionalmente, será apresentado um panorama sobre a utilização de técnicas de *submodelagem* na área da engenharia de petróleos empregando o programa Abaqus.

- O Capítulo 3 apresenta uma metodologia para estabelecer a janela operacional de um poço de petróleo analiticamente em uma *subestrutura* de interesse a partir de equações elásticas (Fjaer *et al.*, 2008) e das tensões *in situ* fornecidas por um *modelo global* dado, as quais são transferidas para cada ponto que compõe a trajetória do poço de petróleo empregando as técnicas de transferência de tensões do *Inverso Ponderado da Distância* (IPD) e do *Gradiente de Tensões* (GT). Neste capítulo serão adotadas as *subestruturas A e B*, as quais correspondem a uma seção inclinada de um poço de petróleo e a uma trajetória completa de um poço vertical, respectivamente.

- No Capítulo 4 são transferidas as tensões *in-situ* de um *modelo global* dado para três *submodelos*, denominados *submodelos A, B e C*, os quais se encontram localizados em diferentes regiões desse *modelo global*. Para a anterior transferência de tensões, são empregadas tanto a técnica do *IPD* quanto

a técnica do *GT*. O anterior, visando realizar futuros estudos numéricos de estabilidade de poços através de técnicas de submodelagem.

- No Capítulo 5 são discutidos os resultados finais a partir da utilização das técnicas do *IPD* e do *GT* para a transferência de tensões tanto nas *subestruturas* quanto nos diferentes *submodelos* adotados nesta dissertação. Adicionalmente, serão apresentadas janelas operacionais para as *subestruturas A e B* a partir de vários cenários hipotéticos de perfuração.

- No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e recomendações desta pesquisa.

-E por fim, é apresentado um Apêndice para complementar os resultados apresentados no Capítulo 6.