

1 Introdução

A perfuração de poços para produção de petróleo e/ou gás tem como objetivo a construção de um furo estável que permita colocar em comunicação o reservatório com a superfície para a produção do(s) fluido(s) de interesse. Para se alcançar esse objetivo é necessário atravessar diferentes formações rochosas submetidas a complexos estados de geopressões e diferentes propriedades de resistência que podem acarretar severos problemas e, portanto, altos custos de perfuração.

A tecnologia MWD-LWD (a confiabilidade de suas medições) usada na Indústria do Petróleo permite não só fazer medições em Tempo Real (TR) durante a perfuração do poço, mas também a transmissão da mesma do sitio de perfuração a centros de monitoramento/suporte de operações. Esses centros, desde sua criação no final dos anos noventa para o suporte das operações no golfo de México (GOM) em águas profundas pela Shell e Halliburton (Kaminiske et al., 2002; van Oort et al., 2005), têm mostrado grande sucesso visto que não só prestam suporte para a solução de problemas, mas também atuam de forma proativa, permitindo prever situações, auxiliando a tomada de decisões e a redução de custos.

Tornou-se hoje quase convencional para as diversas fases da perfuração o suporte/monitoração das operações utilizando MWD-LWD. A literatura mostra diversas aplicações tais como: (i) navegação pelo subsolo para a construção da trajetória do poço e posicionamento (geosteering) do mesmo dentro do reservatório para incrementar a produção e a recuperação final do campo como também previsão de potenciais problemas como o cone de água, (ii) sísmica durante a perfuração (SWD) a qual permite obter informações à frente da broca (Vincké & Mabile 2004; Borland et al., 1997), (iii) acompanhamento e previsão da pressão de poros, (iv) análise de estabilidade de poços (Greenwood et al., 2005), como também a simulação da perfuração (Rommetveit et al., 2007; Hareland et al., 2007a). Em função destas aplicações, hoje fala-se em perfuração em TR.

Os avanços na tecnológica direcional para perfurar os poços horizontais e/ou de grande alcance estão se tornando tecnologias convencionais devido ao grande benefício que traz a produção e recuperação dos fluidos de interesse.

Segundo Warren (2006), os motores de fundo (steerable motor) ainda comandam 80% da demanda do mercado da perfuração direcional, a principal razão para isto é ainda o alto custo dos sistemas Rotary Steerable.

A Figura 1 mostra os principais componentes de um sistema de perfuração rotativa para a perfuração de poços de petróleo e/ou gás. A broca de perfuração constitui-se no último elemento da coluna de perfuração e é a ferramenta utilizada para cortar ou triturar a rocha. A tecnologia no desenvolvimento de brocas também tem evoluído muito. Hoje se desenham brocas que alcançam um maior rendimento (maior ROP) e uma maior vida útil (menor desgaste). Isto tem grande impacto quando se perfura em lâminas de água ultraprofundas, poços direcionais e de longo alcance, onde o tempo de manobra acaba se tornando excessivamente alto, influenciando de maneira direta o custo total da operação de perfuração. Dentro deste contexto, fica evidente a preocupação e a necessidade da correta escolha e operação das brocas de perfuração (Plácido, 2007).

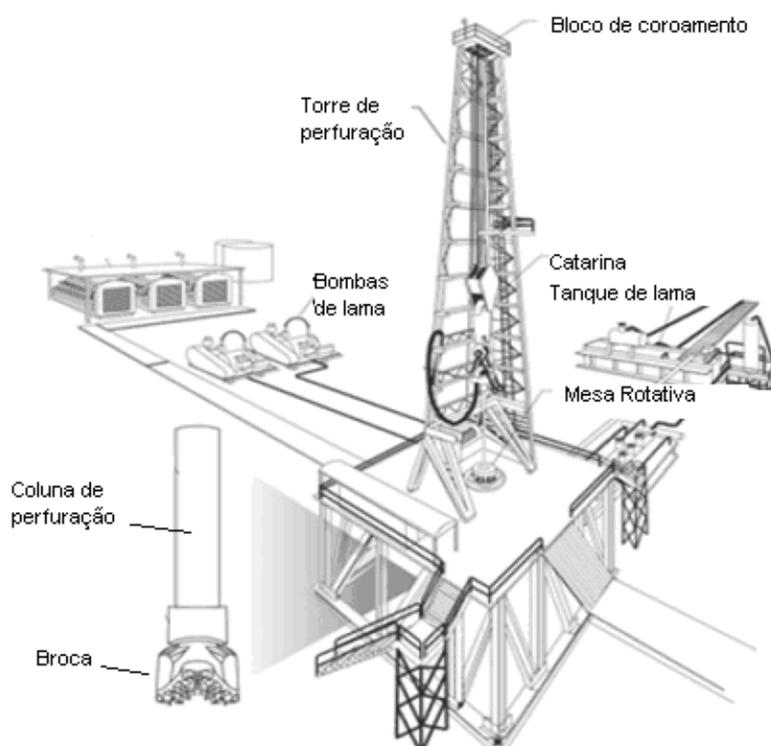


Figura 1.1 – Principais elementos de um sistema de perfuração para poços de petróleo e/ou gás. (Modificado Manual de perfuração da Halliburton, 2000).

1.1. Motivação da Pesquisa

Neste contexto é importante estabelecer metodologias que aproveitem a informação disponível/transmitida em TR, tanto no sitio da perfuração como nos centros de suporte/monitoramento ajudando dessa forma à toma de decisões em TR proporcionando uma redução de custos e segurança das operações. Dentro dessas informações disponíveis encontram-se os parâmetros operacionais da perfuração (peso sobre a broca WOB), revoluções por minuto da broca (RPM), taxa de fluxo (GPM) e taxa de perfuração (ROP), os quais são informações permanentes e de baixo custo.

É intuitivo que a resposta da broca de perfuração deveria refletir as propriedades de resistência da rocha sob as condições reais no fundo do poço. Porém, segundo Winters et al. (1987); e Fjaer et al. (2008) a perfuração de poços é uma operação que envolve uma complexa interação de grande quantidade de grandezas entre as quais se destacam o tipo e o desenho da broca, as condições de operação e a mecânica das rochas.

O grande avanço na tecnologia das brocas como se deixa entrever ao longo desta pesquisa e no breve histórico apresentado na continuação, se deve em grande parte à grande pesquisa feita na procura de entender a interação de um só cortador - rocha, os modelos de perfuração (ou modelos ROP) propostos para a previsão da taxa da perfuração e o grande avanço na tecnologia dos materiais.

As primeiras brocas utilizadas na perfuração rotativa foram brocas de arraste, tipo rabo de peixe (Figura 1.2a) as quais não possuem partes móveis e seu principal mecanismo de corte é pela raspagem. No principio do século XX apareceram as primeiras brocas de cones rotativos de dois e três cones (Figura 1.2b) que apresentavam como mecanismo de corte o esmagamento da rocha (Bourgoyne et al., 1991; Plácido, 2007).



Figura 1.2. Brocas de perfuração: a) broca de rabo de peixe (Bourgoyne et al., 1991) b) broca de insertos tricônica c) broca PDC (catalogo da Baker Hughes).

Na década de setenta foram introduzidas brocas de diamantes sintéticos PDC (Figura 1.3c) as quais nos ensaios de laboratório apresentaram altas taxas de perfuração criando uma grande expectativa, mas tiveram muitos problemas quando foram utilizadas em campo. A partir dos anos noventa com a identificação e superação de alguns problemas, como as altas taxas de desgaste sofridas pelos cortadores devido às altas temperaturas geradas no processo de corte da rocha e a identificação da causa do rompimento/falha dos cortadores devido às vibrações (whirl) geradas durante a perfuração (Warren & Sinor, 1994), tem-se conseguido uma melhora significativa de desempenho com altas taxas de perfuração em folhelhos, evaporitos, etc. e longos intervalos perfurados (Sinor et al., 1998, ver Figura 1.3). Isso têm tornado seu uso viável economicamente apesar de terem preço bem mais elevado que as brocas tricônicas.

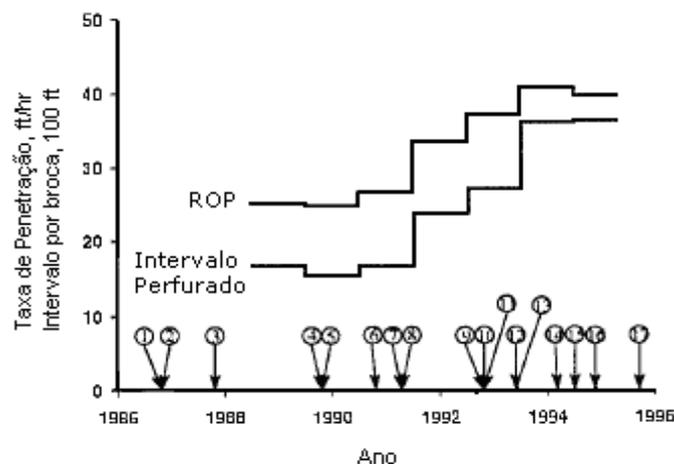


Figura 1.3. Histórico do desempenho das brocas PDC, as flechas indicam as datas da publicação de artigos específicos. (Modificado de Sinor et al., 1998).

A indústria do petróleo nas últimas quatro décadas tem realizado muitas pesquisas com a finalidade de entender a interação broca-rocha, com o objetivo de realizar uma melhor seleção das brocas e dos parâmetros operacionais e, assim, otimizar o processo da perfuração dos poços diminuindo o tempo de perfuração e permitindo perfurar com maior segurança e menores custos.

O processo de geração e remoção de cortes da rocha é um processo complexo, razão pela qual os modelos de perfuração (Modelos ROP) propostos têm sido empíricos ou semi-empíricos para os vários tipos de brocas. O maior modelamento tem sido dedicado às brocas com partes moveis (tricônicas) devido a seu extenso uso. Porém, como foi mencionado, nas últimas décadas as brocas PDC tem tido um grande uso devido ao melhor entendimento e desenhos que reduzem os efeitos das vibrações e aumento da vida de uso das mesmas (Sinor et al., 1998).

Modelos altamente sofisticados e confiáveis têm sido desenvolvidos para a predição da taxa de perfuração para todos os tipos de brocas (Winters et al., 1987; Hareland et al., 1994). Esses modelos são atualmente usados para a simulação de diversos cenários antes da perfuração de um novo poço tendo como objetivo escolher as melhores combinações dos parâmetros para a otimização da operação da perfuração. Os modelos de perfuração podem ser utilizados numa metodologia inversa para obter um perfil de resistência da rocha in situ à perfuração. Esses modelos têm sido verificados na perfuração de poços no Mar do Norte (Bratli et al., 1998) e no Canadá (Hareland & Nygaard 2007), reduzindo de maneira sensível os custos de seções dos poços.

Segundo Fjaer et al., (2008) não há métodos diretos disponíveis para a determinação da resistência da rocha in situ, sendo a maioria das pesquisas e esforços focadas no desenvolvimento de correlações empíricas, especialmente baseadas em velocidades acústicas e/ou densidade e UCS, e porosidade e UCS, tendo uma grande desvantagem, visto que freqüentemente, precisam ser calibradas para um novo poço ou uma nova área.

A resistência não confinada (UCS, Unconfined Compressive Strength) das rochas é um parâmetro de grande relevância na análise de problemas geomecânicos tais como: análise de estabilidade de poços, na restrição quantitativa das magnitudes das tensões in situ usando as falhas observadas no poço (Zoback et al., 2003), na determinação do potencial de produção de areia (Santarelli et al., 1989), na seleção de brocas, entre outras.

Daí a importância do estudo dos modelos ROP como dos estudos da interação cortador-rocha no aproveitamento da disponibilidade dos parâmetros operacionais na procura de estimar a resistência não confinada das rochas.

1.2. Objetivos da Pesquisa

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta pesquisa envolve o estudo dos modelos ROP mostrados na literatura para os diferentes tipos de brocas usados na perfuração rotativa de poços de petróleo e/ou gás, com a finalidade de estimar a UCS em tempo real a partir dos parâmetros de perfuração. Isso se justifica visto a utilidade/relevância desse parâmetro para avaliações relacionadas a problemas geomecânicos.

1.2.2 Objetivo Específicos

Estimar perfis de resistência da rocha à perfuração usando o modelo de ROP de broca PDC (Hareland & Rampersad, 1994) para dois poços de uma bacia brasileira.

Correlacionar a resistência da rocha à perfuração (S) e a UCS de maneira que esta última possa ser estimada mediante o uso dos parâmetros da perfuração. Para isto, se estimará a UCS a partir de perfis geofísicos de poços (tempo de trânsito compressional o cisalhante e densidade) com correlações publicadas na literatura e se calibrará a mesma com dados de ensaios de resistência (para a bacia sedimentar de interesse) publicados na literatura.

1.3. Contribuição da Pesquisa

A principal contribuição desta dissertação é a apresentação de uma nova metodologia para a estimativa da UCS a partir de dados de perfuração que pode ser aplicada em Tempo Real durante a perfuração. Também, a utilização do espaço da análise UCS/S vs. WOB/RPM se mostra muito promissor nas análises relacionadas ao planejamento/otimização da perfuração e avaliação da perfuração em Tempo Real.

Outra contribuição deste trabalho é apresentar uma bibliografia cronológica dos modelos ROP e algumas pesquisas da interação de ensaios de laboratórios de um só cortador com a rocha, para um melhor entendimento do processo da perfuração.

1.4. Estrutura da dissertação

Este item aborda uma descrição dos capítulos componentes da estrutura desta dissertação. Este trabalho está estruturado em seis capítulos, incluindo essa introdução, que caracteriza o Capítulo 1, e uma seção de referências bibliográficas.

O capítulo 2 apresenta uma revisão bibliográfica onde é apresentado o desenvolvimento dos modelos de ROP, e os diversos parâmetros e/ou propriedades envolvidas na perfuração de um poço de petróleo.

O capítulo 3 apresenta a metodologia e correlações usualmente usadas para a estimativa da UCS a partir de perfis geofísicos de poços.

No Capítulo 4 é apresentada a metodologia e uma aplicação da mesma para determinar os perfis de resistência de dois poços de uma bacia brasileira que serão usados posteriormente no objetivo desta pesquisa na correlação com a UCS.

No Capítulo 5 é mostrada a metodologia proposta para a estimativa da UCS a partir de dados de perfuração e aplicada aos dois poços sob estudo. Também se apresentam algumas considerações do uso desta correlação no planejamento/otimização de um novo poço e na avaliação em TR da perfuração.

No Capítulo 6 são apresentadas as conclusões e as sugestões para trabalhos futuros. Ao final do volume, se apresenta a seção de referências bibliográficas utilizadas para a elaboração dessa dissertação.