

() Graduação (x) Pós-Graduação

**OTIMIZAÇÃO DE PARÂMETROS OPERACIONAIS NA PERFURAÇÃO DE
POÇOS DE PETRÓLEO: análise envolvendo energia mecânica específica e taxa de
penetração**

**Diunay Zuliani Mantegazini,
Universidade Estadual Paulista - UNESP,
diunay.mantegazini@unesp.br**

**Thales Rodrigues Barboza,
Universidade Estadual Paulista - UNESP
thales.barboza@unesp.br**

**Kelly Costa Cabral Salazar Ramos Moreira,
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES,
kelly.ramos@edu.ufes.br**

**Andreas Nascimento,
Universidade Federal do Espírito Santo - UFES,
andreas.nascimento@ufes.br**

**João Andrade de Carvalho Júnior,
Universidade Estadual Paulista - UNESP,
ja.carvalho@unesp.br**

RESUMO

Na área de petróleo e gás, o aumento da eficiência dos processos é de grande importância devido ao alto custo das sondas utilizadas nas atividades de perfuração. A necessidade de reduzir estes custos tem feito com que empresas de perfuração busquem métodos que tornem o processo mais eficiente. Uma das diversas formas é através da análise de parâmetros operacionais em tempo real durante a perfuração de poços, de modo a obter uma taxa de penetração desejada com o menor gasto de energia possível. A determinação da menor energia mecânica específica (MSE) para uma determinada taxa de perfuração pode aumentar a vida útil da broca e dos demais equipamentos, além de reduzir substancialmente o tempo e os custos da perfuração de um poço. Neste projeto, pretende-se obter uma função multi-objetiva para a otimização de perfuração que associe a energia mecânica específica (MSE), e a taxa de penetração (ROP).

Palavras-chave: Desempenho, Eficiência, Energia, Modelo Bourgoyne e Young, Processo de perfuração.

INTRODUÇÃO

A decrescente taxa de produção e a crescente demanda por hidrocarbonetos levam a indústria do petróleo a explorar reservas em ambientes cada vez mais desafiadores. A perfuração de poços nesses ambientes implica em grandes gastos de capital na construção do poço (BARBOSA et al., 2019). O custo diário da perfuração em condições adversas pode exceder US \$ 1 milhão, o que significa que tempos de inatividade ou manutenções durante a operação aumentarão substancialmente os custos. Desta forma, a otimização do processo é um fator essencial na redução de custos (ELMGERBI; THONHAUSER; NASCIMENTO, 2019).

A exploração do Pré-sal exemplifica os desafios e dificuldades enfrentados durante as atividades de perfuração. Os parâmetros de perfuração tais como a velocidade rotativa e diâmetro da broca, peso sobre a broca, torque da coluna de perfuração, vazão e densidade do fluido de perfuração ou até mesmo a pressão de bombeio, afetam as atividades de perfuração e sua eficiência, ocasionando gastos excessivos de energia quando mal dimensionados. Logo, um modelo preditivo preciso para a taxa de penetração (ROP) da broca é crucial para a otimização do processo de perfuração (ARABJAMALOEI; KARIMI DEHKORDI, 2012).

A taxa de penetração (ROP) é uma medida de quão rápido o poço é perfurado em termos de comprimento perfurado por unidade de tempo (SOARES; DAIGLE; GRAY, 2016). A escolha dos parâmetros ideais para otimizar a ROP é bastante complexa e importante, visto que uma escolha inadequada acarreta em maiores gastos de energia, maior vibração de coluna e, conseqüentemente, reduz a vida útil da broca e dos demais equipamentos.

Apesar disso, parâmetros de perfuração como o peso sobre a broca e a velocidade rotativa são muitas vezes baseados em práticas normais de operação em campo, em vez de calculados para valores otimizados (ELMGERBI et al., 2015). Uma metodologia que forneça uma combinação ótima de parâmetros operacionais para uma determinada ROP é capaz de reduzir consideravelmente os custos de perfuração e o tempo de operação. Para isso, é necessário considerar alguns parâmetros independentes, como os geológicos e geotécnicos, fatores operacionais e características da máquina (ASHRAFI et al., 2019).

Vários modelos matemáticos de ROP foram desenvolvidos nas últimas décadas. Alguns modelos partem de formulações RWN (taxa de penetração, peso sobre a broca e velocidade rotativa) bastante simples e, conseqüentemente, são menos confiáveis. Em contrapartida, abordagens mais abrangentes, como o modelo de Bourgoyne e Young, são mais confiáveis e amplamente utilizados na indústria de petróleo (ELMGERBI et al., 2015).

A ROP é a métrica de otimização mais utilizada no processo de perfuração devido à sua simplicidade, já que maior ROP significa maior produtividade. Porém, nem sempre a ROP representa o uso mais eficiente dos recursos de perfuração (DUPRIEST, 2006). Perfurar muito rápido em uma formação rígida pode resultar em um desgaste excessivo da broca, o que pode exigir a substituição da broca com custos e tempos adicionais (HEGDE et al., 2020).

Com o tempo foi verificado que a mais elevada ROP nem sempre é a ideal, de forma que deve-se buscar na realidade a menor energia mecânica específica (MSE) ou a combinação dos dois. A energia mecânica específica (MSE) é uma medida da quantidade de energia necessária para quebrar um volume unitário de rocha. Teale (TEALE, 1965) introduziu a MSE na indústria de mineração como uma medida de qualidade para perfuração. Logo após foi adaptada para avaliar a eficiência na perfuração e desde então foi aplicada como uma métrica de otimização em tempo real (DUPRIEST; KOEDERITZ, 2005).

Durante o processo de perfuração, busca-se sempre o valor mínimo da MSE necessário para perfurar a formação geológica em questão. Um valor da MSE muito elevada é um indício de que uma parte da energia aplicada à broca para a perfuração está sendo perdida na geração de vibração excessiva, flambagem de coluna e desgaste da broca.

A busca pelo par velocidade de rotação da broca e peso sobre broca capaz de gerar a menor energia mecânica específica para uma determinada ROP é algo que pode aumentar muito a vida útil da broca e dos demais equipamentos, além de reduzir significativamente os custos da perfuração de um poço (GANDELMAN et al., 2009). Isto torna evidente a necessidade de otimização dos parâmetros operacionais para manter a ROP nos níveis desejados durante o processo de perfuração de poços, de forma a minimizar a MSE.

Dessa forma, o objetivo dessa pesquisa, é desenvolver uma metodologia para a otimização do processo de perfuração que associe a combinação da ROP e a da MSE. O intuito do modelo é incorporar várias métricas, buscando a menor MSE, em combinação com a maior ROP durante o processo de perfuração.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo está sendo desenvolvido em uma unidade didática de perfuração no Departamento de Engenharia e Tecnologia (DET) situado no Centro Universitário Norte do Espírito Santo – CEUNES – São Mateus – Espírito Santo – Brasil, em parceria com a Universidade Estadual Paulista - UNESP - Guaratinguetá – São Paulo – Brasil. A unidade didática de perfuração é totalmente automatizada e utiliza sensores anexados à coluna de

perfuração para medir os parâmetros de perfuração durante a realização dos testes experimentais.

A posição do bloco, a profundidade do furo, o peso na broca, a velocidade rotativa da coluna de perfuração e o torque na broca são registrados em tempo real diretamente dos sensores. Todos os dados serão coletados em um intervalo de amostragem de 1 segundo. A ROP é calculada a partir dos dados de posição do bloco. Além disso, a unidade didática apresenta a capacidade de perfurar orifícios de pequenos diâmetros com brocas de 2-3 polegadas.

Para realizar os testes de perfuração, e analisar os efeitos das propriedades mecânicas, serão preparados cubos de concreto com dimensões de 30x30x30 cm³. Serão construídos cubos de concreto uniformes e com diferentes camadas, além de diferentes relações água/cimento simulando as formações rochosas onde ocorrerão as perfurações.

O modelo de Bourgoyne e Young é uma abordagem viável para entender e calcular os parâmetros de perfuração, tais como a velocidade rotativa da broca, peso sobre a broca, diâmetro da broca, torque da coluna de perfuração, vazão e densidade do fluido de perfuração, pressão de bombeio sobre a ROP em tempo real.

Entretanto, são necessárias considerações adicionais, permitindo uma melhor compreensão do modelo. A melhor compreensão do modelo pode ser alcançada, alterando o modelo original, ou seja, adicionando mais funções, como por exemplo vibrações e fatores de normalização.

A MSE pode ser modelada de acordo com a fórmula de Teale (TEALE, 1965). A princípio, quanto maior for a MSE disponibilizada na broca, maior será a velocidade de avanço observada. Porém, há um limite para a velocidade de perfuração. A partir de um determinado ponto, o aumento da MSE levará a nenhum ou a um insignificante aumento na ROP (AADNOY et al., 2009).

RESULTADOS ESPERADOS

O presente trabalho visa preencher lacunas existentes nas operações de perfuração. Ao final do estudo, espera-se que uma base de dados possa ser adquirida, possibilitando a identificação e avaliação de como as variáveis do processo de perfuração afetam a taxa de penetração (ROP) e a energia mecânica específica (MSE). Além disso, espera-se também, que seja desenvolvida uma nova metodologia capaz de combinar a menor MSE e a maior ROP.

REFERÊNCIAS

AADNOY, B. et al. **Advanced drilling and well technology**. Houston, TX:SPE: 2009.

ARABJAMALOEI, R.; KARIMI DEHKORDI, B. Investigation of the most efficient approach of the prediction of the rate of penetration. **Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects**, v. 34, n. 7, p. 581–590, 13 fev. 2012.

ASHRAFI, S. B. et al. Application of hybrid artificial neural networks for predicting rate of penetration (ROP): A case study from Marun oil field. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 175, p. 604–623, 1 abr. 2019.

BARBOSA, L. F. F. M. et al. Machine learning methods applied to drilling rate of penetration prediction and optimization - A review. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 183, 1 dez. 2019.

BOURGOYNE, A. T.; YOUNG, F. A multiple regression approach to optimal drilling and abnormal pressure detection. **onepetro.org**, 1974.

DUPRIEST, F. E. **Comprehensive Drill Rate Management Process To Maximize ROP**. SPE Annual Technical Conference and Exhibition. **Anais...Society of Petroleum Engineers**, 4 abr. 2006

DUPRIEST, F. E.; KOEDERITZ, W. L. **Maximizing Drill Rates with Real-Time Surveillance of Mechanical Specific Energy**. SPE/IADC Drilling Conference. **Anais...Society of Petroleum Engineers**, 4 abr. 2005

ELMGERBI, A. et al. Mathematical Modeling Applied to Drilling Engineering: An Application of Bourgoyne and Young ROP Model to a Presalt Case Study. **Mathematical Problems in Engineering**, 20 ago. 2015.

ELMGERBI, A.; THONHAUSER, G.; NASCIMENTO, A. **Conception of a Web Operation System for Processing Petroleum Related Drilling Data: A Focus on Pre-Salt Real-Time Automation and Optimization**, 10 abr. 2019.

GANDELMAN, R. et al. Real-Time Drilling Data Analysis: Building Blocks for the Definition of a Problem Anticipation Methodology. 2009.

HEGDE, C. et al. Fully coupled end-to-end drilling optimization model using machine learning. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, v. 186, 1 mar. 2020.

MAURER, W. C. Bit - Tooth Penetration Under Simulated Borehole Conditions. **Journal of Petroleum Technology**, v. 17, n. 12, p. 1433–1442, 1 dez. 1965.

SOARES, C.; DAIGLE, H.; GRAY, K. Evaluation of PDC bit ROP models and the effect of rock strength on model coefficients. **Journal of Natural Gas Science and Engineering**, v. 34, p. 1225–1236, 1 ago. 2016.

TEALE, R. The concept of specific energy in rock drilling. **International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts**, v. 2, n. 1, p. 57–73, 1965.

YOUNG, F. S. Computerized Drilling Control. **Journal of Petroleum Technology**, v. 21, n. 04, p. 483–496, 1 abr. 1969.