

9º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



9º CONGRESSO
Brasileiro de P&D em
PETRÓLEO E GÁS

Maceió, AL
de 09 a 11 de novembro
2017

Realização:



ABPG
ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE P&D EM
PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

**ESTUDO DAS PERDAS DE CARGA NAS CIRCULAÇÕES DIRETA E REVERSA
EM UM POÇO ONSHORE**

AUTORES:

Waleska Rodrigues Pontes da Costa¹, Rafael de Oliveira Castro², Luciana Viana Amorim¹

INSTITUIÇÃO:

¹Universidade Federal de Campina Grande – UFCG, ²PETROBRAS (TAR/CPT/ECP/EP), Natal-RN

Este Trabalho foi preparado para apresentação no 8º Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Petróleo e Gás - 9º PDPETRO, realizado pela Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás - ABPG, no período de 09 a 11 de novembro de 2017, em Maceió/AL. Esse Trabalho foi selecionado pelo Comitê Científico do evento para apresentação, seguindo as informações contidas no documento submetido pelo(s) autor(es). O conteúdo do Trabalho, como apresentado, não foi revisado pela ABPG. Os organizadores não irão traduzir ou corrigir os textos recebidos. O material conforme, apresentado, não necessariamente reflete as opiniões da Associação Brasileira de P&D em Petróleo e Gás. O(s) autor(es) tem conhecimento e aprovação de que este Trabalho seja publicado nos Anais do 9º PDPETRO.

ESTUDO DAS PERDAS DE CARGA NAS CIRCULAÇÕES DIRETA E REVERSA EM UM POÇO ONSHORE

Abstract

The cleaning of bottom hole during drilling operations is performed through the flow of drilling fluid in the well, which can be performed by the direct or reverse circulation methods. The basic difference between the two methods is the direction of the circulation of the fluid in the well, i.e. in the direct circulation the fluid is injected into the drill string and then, reaches the bottom of the well by the jets of the bit, returning to the surface by the annular space. For the reverse circulation system, the fluid is injected in the annular space and returns to the surface through the drill string, after washing the bottom of the well and passing through the bit, carrying the cuttings. Regardless of the flow direction, the flow of the drilling fluid during its path experiences pressure losses due to the friction between the fluid and the contact surface. The pressure responsible for forcing the fluid flow, overcoming all these pressures drops is provided by a pump. Thus, accurate prediction and even the study of the pressure drops in a circulation system, as well as its distribution in the well, play a fundamental role in the planning and monitoring of drilling operations. In this sense, this work aims to study the pressure losses during transport of cuttings by the drilling fluid in the systems of direct or reverse circulation. For that, two intervals were analyzed in the drilling of an onshore well, one of them, using the reverse circulation, and the other, the direct circulation system. The calculated pressure losses were considerably smaller in the interval drilled with reverse circulation and this difference is mainly related to the lower flow rate used in this system. These results have evidenced the possibility of using reverse circulation in wells whose geometry presents great lengths, since the energy demanded for pumping the drilling fluid will be substantially smaller than in the direct circulation.

Introdução

A realização da limpeza do poço consiste no transporte adequado dos sólidos perfurados até a superfície pelo fluido de perfuração e constitui a principal função desempenhada pelo sistema de circulação durante a operação de perfuração de poços (BILGESU, 2002; AL-KAYEM, 2010). A ineficiência do carregamento dos fragmentos sólidos pode ocasionar problemas como prisão da coluna de perfuração, fraturamento da formação, desgaste prematuro da broca e até perda do poço (COSTA, 2006).

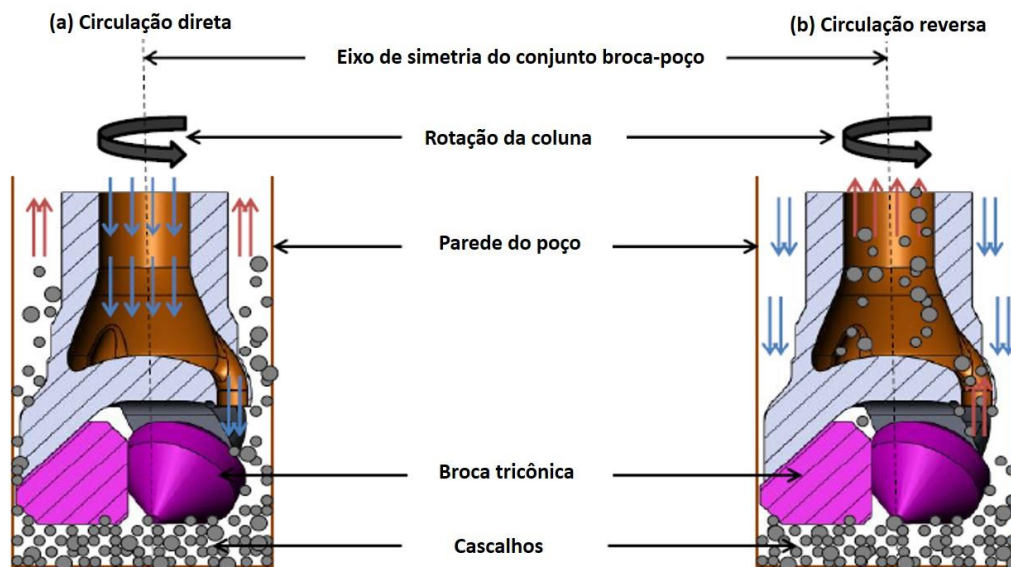
Atualmente, o transporte de sólidos pelo fluido de perfuração pode ser realizado através do uso de dois métodos: a circulação direta ou circulação reversa. A diferença básica entre os dois métodos é o sentido de circulação do fluido no poço, isto é, na circulação direta o fluido é injetado na coluna de perfuração e lançado no fundo do poço pelos jatos da broca, retornando à superfície pelo espaço anular, enquanto na circulação reversa o fluido é injetado pelo espaço anular e retorna à superfície pela coluna de perfuração após lavar o fundo do poço e passar pela broca carregando os cascalhos (SANSONI, 2005). A Figura 1 compara a diferença do sentido de circulação do fluido no poço nas circulações direta e reversa.

A circulação reversa teve os primeiros usos aplicados à mineração, afim de solucionar dificuldades encontradas na perfuração de ferro friável e solos arenosos (THOMAS, 2012). As aplicações na indústria de petróleo são ainda recentes; os primeiros estudos tiveram início no Brasil em 2003, contudo os primeiros testes começaram a ocorrer apenas no ano de 2008 (TORRES, 2013 *apud* DAROZ, 2015).

As principais vantagens obtidas com a utilização desse método são decorrentes sobretudo da maior velocidade de fluxo do fluido no interior da coluna perfuração, devido às menores áreas para

escoamento nessa região, tendo ainda seu transporte facilitado pelo efeito rotativo da coluna (SANSONI, 2005; DAROZ, 2015). Essa condição garante diversos benefícios à operação, podendo-se destacar: o transporte adequado dos sólidos, uso de menores vazões de bombeio, redução da probabilidade de ocorrência de aprisionamento da coluna de perfuração e maior facilidade na perfuração de poços com maiores profundidades, maiores diâmetros e trechos horizontais mais extensos, o que proporciona uma maior área de drenagem nos intervalos produtores (TORRES, 2006).

Figura 1. Representação do conjunto broca-poço operando em (a) circulação direta (b) circulação reversa.



Fonte: Daroz, 2015

Independentemente do método de circulação usado, o escoamento do fluido de perfuração durante seu trajeto no poço sofre perdas de pressão em razão do atrito entre o fluido e a superfície de contato, também conhecidas como perdas de carga. A pressão responsável por forçar o fluxo do fluido, superando todas as perdas de carga, é fornecida pela bomba. Desse modo, a previsão precisa e até mesmo o estudo das perdas de carga em um sistema de circulação, bem como a distribuição das mesmas ao longo das seções do poço desempenham um papel fundamental no planejamento e monitoramento de operações de perfuração (MINTON E BERN, 1988).

Este trabalho tem como objetivo o estudo das perdas de carga durante o transporte de cascalhos pelo fluido de perfuração nos sistemas de circulação direta e reversa.

Metodologia

As análises realizadas nesse estudo consideraram a perfuração da fase de 12,25 polegadas de diâmetro de um poço direcional *onshore*, compreendida entre 1105 e 2830 metros. Para perfuração da fase foram utilizados alternadamente os sistemas de circulação direta e reversa. A Tabela 1 apresenta a profundidade inicial e final de cada um dos intervalos perfurados, bem como peso sobre broca (PSB), rotação (RPM), vazão, taxa de penetração (ROP) e método de circulação usado.

Tabela 1. Intervalos de perfuração da fase considerada no estudo

Intervalo	Início (m)	Fim (m)	PSB (Klbs)	RPM	Vazão (gpm)	Circulação
1	1105	1188	40	100	850	DIRETA
2	1188	1480	40	90	100,5	REVERSA
3	1480	1495	35	100	100,5	REVERSA
4	1495	1498	35	100	850	DIRETA
5	1498	1507	35	100	850	DIRETA
6	1507	1528	45	100	100	REVERSA
7	1528	1847	40	100	750	DIRETA
8	1847	1890	40	100	100	REVERSA
9	1890	1987	38	110	130	REVERSA
10	1987	2012	32	110	130	REVERSA
11	2012	2020	37	110	140	REVERSA
12	2020	2215	47	100	100	REVERSA
13	2215	2830	10	126	900	DIRETA

Os intervalos 2 e 13 (Tabela 1), que usam os métodos de circulação reversa e direta, respectivamente, foram os selecionados para análise da perda de carga neste estudo. Os parâmetros operacionais de cada um deles encontram-se sintetizados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros operacionais dos intervalos analisados

Intervalo	L (m)/ Diâmetro (in)	L Revestimento (m)/ Diâmetro (in)	Massa específica (lb/gal)	VP/LE	Uso de MWD	Uso de Motor de Fundo	Jatos da broca (in)
2	1480/12,25	1098,5/ 13,375	10,1	65/45	sim	sim	4x64
13	2830/12,25	1098,5/ 13,375	9,8	53/44	sim	não	6x24

O modelo adotado para quantificação das perdas de carga ao longo do sistema de circulação considera três seções principais: broca, coluna de perfuração e anular, com base nas Equações 1 a 4, apresentadas a seguir:

Perda de Carga na Broca

$$\Delta P_{broca} = \frac{156,5 \times \rho \times Q^2}{(J^2 + J^2 + J^2)^2} \quad (1)$$

Em que ρ corresponde à massa específica do fluido, em lb/gal, Q , à vazão do fluido, em gpm (galões por minuto) e J é o jato da broca.

Perda de Carga na Coluna de Perfuração

$$\Delta P_{coluna} = K \times Q^{1,8} \quad (2)$$

$$K = \left[\rho \left(\frac{L_{DP}}{ID_{DP}^{4,8}} + \frac{L_{HW}}{ID_{HW}^{4,8}} + \frac{L_{DC}}{ID_{DC}^{4,8}} \right) \right] \times 2500^{-1} \quad (3)$$

A Equação 2 calcula a perda de carga na coluna com base na vazão do fluido, Q , dada em gpm, e na constante K , calculada pela Equação 3. L e ID representam os comprimentos e diâmetros internos, respectivamente, dos tubos de perfuração (*drill pipes - DP*), tubos pesados (*heavy weights- HW*) e comandos (*drill collars - DC*), e ρ representa a massa específica do fluido, em lb/gal.

Perda de Carga no Anular

$$\Delta P_{anular} = \frac{L \times LE}{68,58 \times (\phi_{ex} - \phi_{in})} + \frac{L \times VP \times V}{24730 \times (\phi_{ex} - \phi_{in})^2} \quad (4)$$

A perda de carga no anular foi também subdividida, considerando que o espaço anular pode estar localizado entre determinado componente da coluna de perfuração e o revestimento ou a parede do poço, tendo como consequência mudanças na área disponível para escoamento do fluido.

Assim, na Equação 4, as variáveis L , ϕ_{ex} e ϕ_{in} dependem da composição de cada uma das subseções do anular, correspondendo ao comprimento da mesma, em metros, diâmetro do componente que limita o anular externamente (diâmetro do poço aberto ou diâmetro interno do revestimento) e diâmetro do componente da coluna que estabelece o limite interno do anular (diâmetro externo dos tubos de perfuração, tubos pesados ou comandos), respectivamente. Todos os diâmetros são considerados em polegadas (in). As variáveis VP e LE correspondem à viscosidade plástica e limite de escoamento do fluido, dados em cP (centipoise) e lb/100ft², respectivamente. V equivale à velocidade do fluido de perfuração em ft/min, calculada pela Equação 5.

$$V = \frac{24,51 \times Q}{(\phi_{ex}^2 - \phi_{in}^2)} \quad (5)$$

Resultados e Discussão

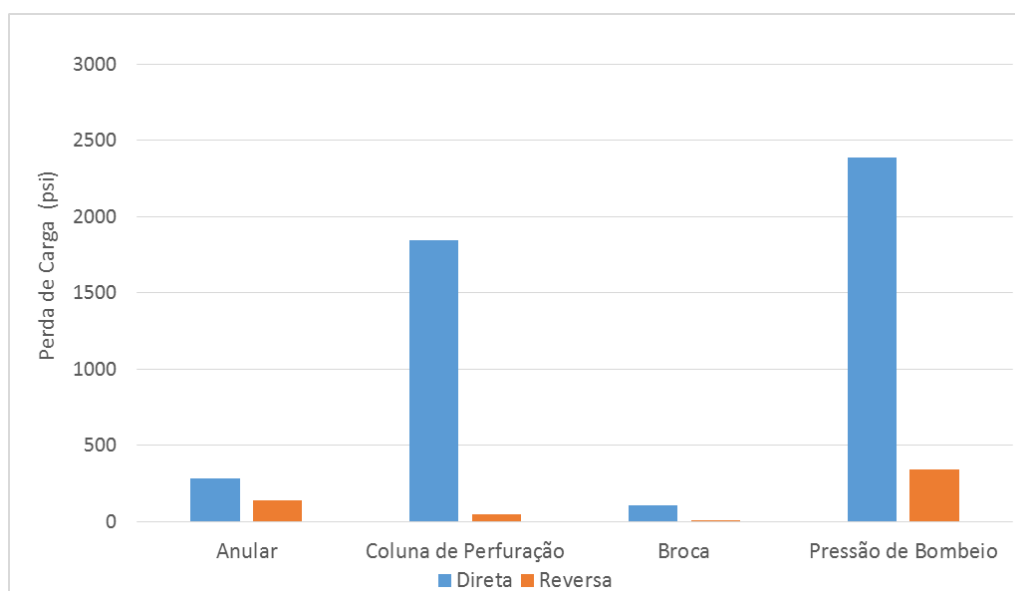
A partir dos dados dos intervalos analisados, foram calculadas as perdas de carga em cada uma das subseções do poço, isto é, broca, coluna de perfuração e espaço anular. Os valores calculados para as perdas de carga em cada uma das sessões do poço nos dois intervalos encontram-se apresentados nas Tabelas 3 e 4 e no gráfico da Figura 2. As duas últimas colunas do gráfico referem-se à pressão de bombeio prevista, que além do somatório das perdas de carga na broca, anular e coluna de perfuração, incluem também a perda de carga no equipamento MWD (*measure while drilling*), usado em ambos os intervalos. Essa perda de carga foi considerada como 150 psi, de acordo com a especificações do fabricante do equipamento utilizado.

Tabela 3. Perdas de carga ao longo das regiões do poço no intervalo 2

	Perda de carga (psi)
Broca	0,06
Anular	142,82
Coluna de Perfuração	46,54

Tabela 4. Perdas de carga ao longo das regiões do poço no intervalo 13

	Perda de carga (psi)
Broca	107,19
Anular	285,38
Coluna de Perfuração	1846,71

Figura 2. Perdas de carga ao longo das regiões do poço e pressão de bombeio

As diferenças mais significativas entre as perdas de carga calculadas nos métodos estudados ocorreram no interior da coluna de perfuração. Matematicamente, pode-se afirmar que essa diferença está relacionada à relação exponencial entre a perda de carga e vazão de fluido nessa região, sendo este o fator de maior influência na perda de carga, superando qualquer outra configuração ou mudança operacional imposta pelo método de circulação escolhido. Sansoni (2005) observou a influência significativa desse parâmetro na perda de carga total no poço através de simulações computacionais realizadas no ANSYS CFX® (*Computational Fluid Dynamics*), em que a redução em 50% da vazão levou a uma diminuição de cerca de 72% na perda de carga em um sistema de circulação reversa.

É válido ressaltar que as menores vazões na circulação reversa não ocasionam problemas operacionais associados à hidráulica do poço em razão da alta velocidade média do fluido e, consequentemente, dos cascalhos no interior da coluna de perfuração, conforme análises de perfis de velocidade axial no tubo e no anular, realizadas por Sansoni (2005), garantindo a capacidade de carregamento dos cascalhos com o uso desse método.

As perdas de carga calculadas no anular apresentaram diferença de aproximadamente 50% entre a circulação direta e reversa. Embora as equações de campo evidenciem o impacto dos parâmetros reológicos do fluido e da vazão para essa região, a proximidade da reologia do fluido usado nos intervalos comparados pode ter impossibilitado a obtenção de uma diferença mais representativa.

Para ambos os casos, os valores de perda de carga na broca foram os menores calculados. No caso do intervalo 2, a perda de carga nos jatos da broca foi praticamente inexistente devido à grande área aberta ao fluxo, de 12,57 polegadas quadradas, sendo a maior observada dentre todas as brocas usadas no poço. Esse resultado aponta uma maior precisão da metodologia usada nesse estudo em relação à simulação numérica em que, em virtude da complexidade em modelar a geometria da broca, a perda de carga nessa região na circulação reversa tornou o valor de perda de carga total 40% superior à circulação convencional (SANSONI, 2005), contradizendo o que é verificado através de dados de campo e refutando uma das vantagens propostas pelo método.

Conclusões

Este trabalho tem como objetivo estudar as perdas de carga durante o transporte de cascalhos pelo fluido de perfuração nos sistemas de circulação direta e reversa. A partir dos resultados obtidos conclui-se que:

- i) Em todas as regiões do trajeto do fluido de perfuração a perda de carga é consideravelmente menor na circulação reversa que na direta. Essa diminuição está relacionada sobretudo às menores vazões utilizadas na reversa e teve seu efeito mais significativo na coluna de perfuração, apresentando um valor cerca de 40 vezes inferior em relação ao observado na circulação direta.
- ii) As condições operacionais do sistema de circulação reversa possibilita a perfuração de poços cuja geometria apresenta maior comprimento em razão das menores pressões de bombeio demandadas para superar as perdas de carga do fluido de perfuração.
- iii) O impacto das propriedades reológicas do fluido de perfuração foi analisado através do cálculo na perda de carga no anular. No entanto, para os intervalos considerados, as propriedades reológicas dos fluidos usados eram muito próximas e as diferenças nessa região foram atribuídas majoritariamente à diferença de vazão.

Referências Bibliográficas

AL-KAYIEM, H. H., ZAKI, N. M., ASYRAF, M. Z., & ELFEEL, M. E. **Simulation of the cuttings cleaning during the drilling operation**. American Journal of Applied Sciences, 2010.

BILGESU, H. I. ALI, M. W., AMINIAN, K., & AMERI, S. **Computational Fluid Dynamics (CFD) as a tool to study cutting transport in wellbores**. In SPE Eastern Regional Meeting. Society of Petroleum Engineers, 2002.

COSTA, S.S; MARTINS, A.L.; DA FONTOURA, Sergio A.B. **SIMCARR-Simulador de Hidráulica de Perfuração e Carreamento de Cascalhos**. 2006.

SANSONI JR, U. **Avaliação por Simulação Computacional da Circulação Reversa na Perfuração de Poços de Petróleo**. Dissertação de mestrado, Programa de Pós graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio De Janeiro, 2005.

DAROZ, V. **Investigação Numérica na Circulação Direta e Reversa no Processo de Perfuração de Poços de Petróleo**. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2015.

MINTON, R. C., & BERN, P. A. **Field Measurement and Analysis of Circulating System Pressure Drops With Low-Toxicity Oil-Based Drilling Fluids**. In *SPE/IADC Drilling Conference*. Society of Petroleum Engineers, 1988.

TORRES, F.A.C. **Método para perfuração de poços por circulação reversa do fluido**. PI0605527-3, 2006

THOMAS, J. E. **Fundamentos de engenharia de petróleo**. Interciência, 2001.