



Ajuste das tensões de pico obtidas em testes de reinício de escoamento com fluido de perfuração base água

Fitting of the stress overshoot obtained from startup flow tests with a water-based drilling fluid

Leonardo de Souza Santos*, Elis Marina Schvan Wendt†, Admilson Teixeira Franco‡

RESUMO

A perfuração de poços de petróleo consiste em perfurar longas profundidades para depois realizar a etapa de extração do material. Durante a perfuração do poço com auxílio de uma broca, são gerados cascalhos que precisam ser transportado até a superfície pelo fluido de perfuração. Ocasionalmente, o processo contínuo de geração e carreamento dos cascalhos é cessado e é necessário que não sedimentem quando o fluido para de circular. Por isso, fluidos de perfuração gelificam quando estão em repouso, dificultando o reinício do escoamento no retorno da atividade. A pressão necessária para reiniciar o escoamento pode ser estimada a partir do tempo de repouso e da vazão do fluido. Para isso, resultados experimentais do teste de reinício do escoamento foram utilizados para ajustar os parâmetros com base no modelo Herschel-Bulkley. Foi utilizado um reômetro para realizar os testes em fluido de perfuração base água com 0,25% de goma xantana. O reômetro utilizado é limitado para testes de reinício de escoamento pois não tem controle direto da taxa de deformação imposta. Com a utilização dos softwares Statistica e LabFit o melhor ajuste foi obtido com base no coeficiente de determinação.

Palavras-chave: Fluido de perfuração, Herschel-Bulkley, Statistica, Tensões de Pico, Reinício do Escoamento

ABSTRACT

The drilling of oil wells consists of drilling extended depths and then carrying out the material extraction step. During the drilling of the well, with the aid of a drill, the gravels produced need to be transported to the surface by the drilling fluid. Occasionally, the continuous process of generating and carrying the gravels is stopped, and they must not fall when the fluid stops circulating. Therefore, drilling fluids gel when they are at rest, making it difficult to restart the flow when the activity returns. The pressure needed to restart the flow can be estimated from the rest time and fluid flow. For this, experimental results of the flow start-up test were used to adjust the fit parameters based on the Herschel-Bulkley model. We use a rheometer to perform the tests on a water-based drilling fluid with 0.25% xanthan gum. The rheometer used is limited to flow start-up tests as it has no direct control of the imposed shear rate. Using the Statistica and LabFit softwares, the best fit was obtained based on the coefficient of determination.

Keywords: Drilling fluid, Herschel-Bulkley, Statistica, Stress Overshoot, Flow Start-up

1 INTRODUÇÃO

O petróleo é a matéria prima geradora de uma série de produtos, como combustíveis, plásticos, borracha, chiclete, parafinas, lubrificantes, asfalto e piche. Porém, o petróleo se encontra em lugares de difícil acesso, o que exige alto domínio tecnológico para descoberta e extração (GOUVEIA, 2010). Para extrair o petróleo do solo é necessário fazer a perfuração que é realizada por uma broca. Durante o processo de extração é gerado

* Engenharia mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; ssleonardo99@gmail.com

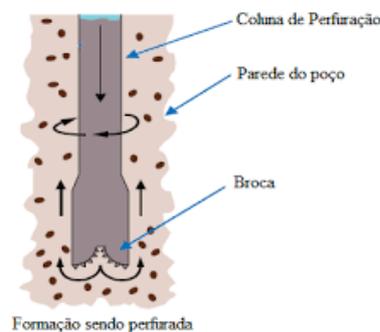
† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Campus Curitiba; elis@alunos.utfpr.edu.br

‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; admilson.franco@gmail.com



uma grande quantidade de cascalhos, como apresentado na Fig. 1. Para a retirada dos cascalhos, o fluido de perfuração (FP) é bombeado, normalmente pela parte interna da coluna de perfuração, e retorna pela região anular entre a coluna e as paredes do poço, carregando os cascalhos para fora do poço. Para retornar ao processo de perfuração os fluidos precisam passar por uma etapa de separação, onde os pedaços de rocha são retirados. Porém há momentos em que o processo é paralisado, o que pode gerar a decantação e a acumulação dos cascalhos no fundo do poço, aprisionando a broca e gerando um grande problema operacional. Para evitar o acúmulo dos cascalhos são utilizados FPs que possuem capacidade de gelificar sua estrutura quando o escoamento é cessado, mantendo os cascalhos suspensos.

Figura 1 – Circulação do fluido de perfuração durante a perfuração



Fonte: Da Silveira (2016)

A gelificação dos FPs ocorre quando são deixados em repouso devido a aglomeração das partículas presentes em suspensão no fluido (KOKE e MODIGELL, 2003). A gelificação ocasiona uma grande diferença entre a pressão necessária para manter o fluido em movimento e a pressão para reiniciar o movimento após certo intervalo de repouso. O teste de reinício do escoamento mede as forças necessárias para colocar o fluido em movimento, sendo realizado com reômetros ou viscosímetros, onde a taxa de deformação constante é imposta no material após certo tempo em repouso. Assim, as tensões de cisalhamento são monitoradas ao longo do tempo e é possível descobrir como são afetadas pelo tempo de repouso (períodos de paralisação) e pela taxa de deformação imposta (vazão mássica do fluido). Entender os parâmetros que influenciam as tensões é importante para a indústria do petróleo. É possível dimensionar a máxima pressão à qual os equipamentos estarão sujeitos quando a circulação é retomada após uma pausa operacional. Qual seria a equação que melhor ajustaria o comportamento ao reinício do escoamento de fluido de perfuração base água com 0,25% de goma xantana? O presente trabalho tem como objetivo ajustar os dados experimentais de tensões de pico com uma equação de poucos parâmetros, baseada na equação de Herschel-Bulkley, e que seja fácil de implementar em softwares de garantia do escoamento. O fluido de perfuração utilizado nos testes foi fornecido pela Petrobrás.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Preparação dos materiais e realização dos testes

O FP base água foi testado no Laboratório de Reometria (LabReo) do CERNN. O FP base água foi misturado com 0,25 wt% de goma xantana. Para realização dos testes o reômetro TA-DHR 3 foi utilizado com geometria de cilindros coaxiais. A temperatura foi controlada pelo sistema peltier do reômetro com o auxílio do banho térmico, mantendo a amostra em 25°C. Para que o teste tivesse uma alta reprodutibilidade, o fluido



foi pré-cisalhado a uma taxa de 300 s^{-1} durante 100 s, gerando um estado que não depende do histórico de cisalhamento da amostra, padronizando o fluido. Um béquer foi utilizado para medir 10 ml da amostra que foi então inserida no copo do cilindro. Durante o experimento, a amostra foi isolada para evitar evaporação.

A curva de escoamento foi obtida para o fluido de perfuração. A curva de escoamento descreve o comportamento do fluido em regime permanente no estado totalmente desestruturado. Diversos patamares de deformação foram impostos no material e, a tensão de cisalhamento foi obtida quando o material atingiu o regime permanente. O reômetro foi programado para aplicar 13 taxas de deformação, alternando-se altas taxas e baixas taxas para evitar a decantação da fase sólida do fluido. A primeira e maior taxa de deformação foi de 100 s^{-1} durante 180 s para desestruturar o fluido de perfuração e manter o material sob uma condição padrão no início do teste. Todas as demais taxas aplicadas duraram 100 s. A sequência de aplicação utilizada foi 100; 0,01; 50; 0,03; 30; 0,05; 10; 0,1; 5; 0,3; 3; 0,5 e 1 s^{-1} .

Além da curva de escoamento foram realizados diversos testes de reinício do escoamento com taxas de deformação e tempos de repouso diferentes. Após o material ser devidamente preparado, homogeneizado, inserido no reômetro e realizado o pré-cisalhamento, foi então deixado em repouso por certo intervalo de tempo, t_r , para então reiniciar o escoamento. Após o repouso, o patamar de taxa de deformação, $\dot{\gamma}_p$, foi imposto e mantido por um longo intervalo de tempo, enquanto a tensão de cisalhamento foi monitorada.

As tensões de pico do teste de reinício de escoamento foram organizados com as variáveis: taxa de deformação imposta, $\dot{\gamma}_p$ [s^{-1}], tempo de repouso, t_r [s] e tensão de pico, τ_p [Pa]. As tensões de cisalhamento obtidas na curva de escoamento foram consideradas como sendo a tensão de pico quando o material se encontra em repouso por $t_r = 0$ s, já que em ambos os casos a tensão é medida para uma taxa de deformação específica, porém no teste de curva de escoamento não há tempo de repouso após o pré-cisalhamento. Os testes de reinício do FP base água foram realizados em sequência, sem que o material fosse retirado do reômetro. Os dados foram transferidos para os Softwares Statistica e LabFit, onde a tensão foi considerada a variável dependente.

2.2 Ajuste dos dados

Os ajustes dos dados experimentais foram realizados no Statistica com um modelo de ajuste não linear, com o método dos mínimos quadrados. As funções utilizadas para o ajuste foram baseadas na função HB pois, para o material que tivesse repousando por um tempo nulo, o comportamento esperado é aquele obtido pela curva de escoamento, assim como já descrito anteriormente. Portanto, todas as funções ajustadas foram da forma:

$$\tau_p = (\tau_0 + k\dot{\gamma}_p^n)f(t_r) \quad (1)$$

onde τ_0 , k e n são os parâmetros da equação de HB e a função f é uma função qualquer do tempo de repouso. Quando o tempo de repouso é nulo, espera-se que $f(t_r = 0) = 1$, restando apenas a função HB que descreve o comportamento do material em regime permanente. Portanto a função $f(t_r)$ foi escolhida para que melhor ajustasse os dados e respeitasse esse critério.

As estimações dos parâmetros feitas pelo método Levenberg-Marquardt usaram 50 iterações e uma convergência de 10^{-4} , já que essa é a menor resolução dos dados analisados. Quando o número de iterações foi insuficiente, a quantidade de iterações foi dobrada. Os valores padrões iniciais dos parâmetros eram 0,1, porém nem sempre foram adequados. Nesses casos o LabFit foi a ferramenta usada para informar os melhores valores iniciais dos parâmetros. A terceira opção era usar parâmetros que comesçassem em 10^{-4} até 10^4 .

3 RESULTADOS



Os dados de taxa de deformação e tensão se cisalhamento da curva de escoamento do FP base água estão apresentados na Tabela 1. No fim de cada patamar de taxa de deformação, a média dos 30 últimos valores de tensão foram obtidos já que se encontravam praticamente constantes, caracterizando o regime permanente.

Tabela 1 – Média dos 30 valores de tensão finais medidos no teste de escoamento do FP base água

Taxa de deformação (s^{-1})	Tensão de cisalhamento (Pa)
100	6,029
50	3,458
30	2,329
10	1,071
5	0,691
3	0,512
1	0,306
0,5	0,245
0,3	0,223
0,1	0,184
0,05	0,155
0,03	0,129
0,01	0,048

Fonte: Autoria própria (2021).

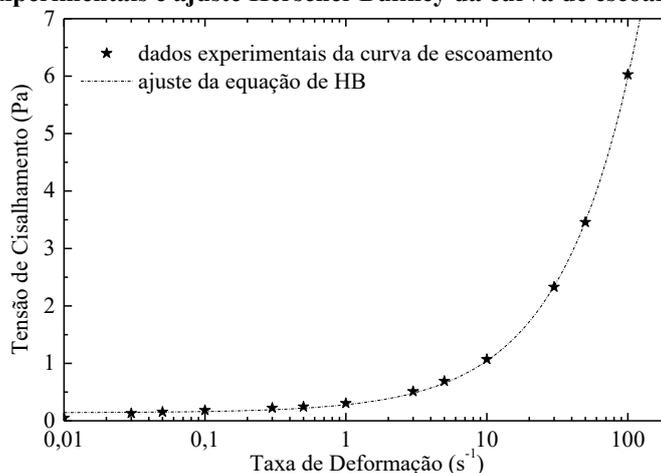
Os parâmetros da equação de Herschel-Bulkley ajustados para os dados do teste da curva de escoamento estão apresentados na Tabela 2. Os dados experimentais da curva de escoamento e o ajuste Herschel-Bulkley estão apresentados na Figura 2.

Tabela 2 – Parâmetros da função Herschel-Bulkley para o FP base água

τ_0 [Pa]	0,14
K [Pa.s ⁿ]	0,14
n [-]	0,81
R^2 do ajuste	0,9998

Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 2 – Resultados experimentais e ajuste Herschel-Bulkley da curva de escoamento do FP base água



Fonte: Autoria própria (2021)

Os resultados reológicos dos testes de reinício do escoamento do FP base água estão apresentados na Tabela 3. Os resultados da curva de escoamento estão apresentadas para o tempo de repouso nulo. Os dados apresentados na Tabela 3 serão ajustados pela equação proposta.

Tabela 3 – Resultado dos testes de reinício do escoamento do FP base água

Taxa de deformação [s ⁻¹]	Tempo de repouso [s]			
	0	60	600	3.600
0,01	0,05	1,21	1,18	1,11
0,05	0,15	1,31	1,24	1,19
0,1	0,18	1,27	1,25	1,48
0,5	0,24	1,31	1,32	1,58
1	0,31	1,37	1,42	1,65
5	0,69	3,62	2,43	2,69
10	1,07	3,91	3,95	4,06

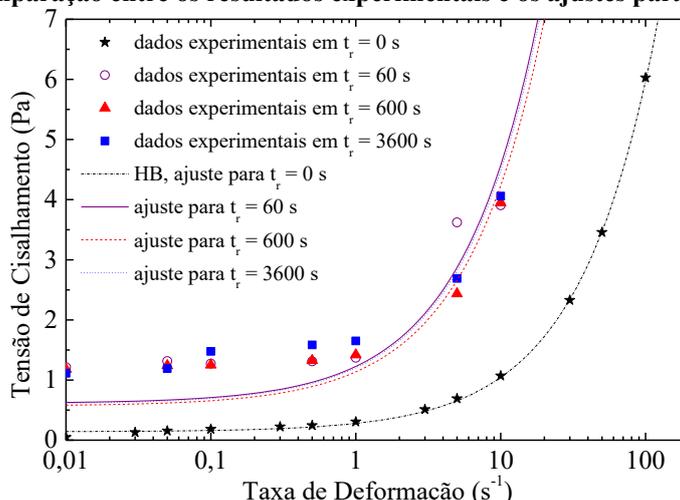
Fonte: Autoria própria (2021).

Diversas funções com a condição de contorno $f(t_r = 0) = 1$ foram ajustadas aos dados da Tabela 3 para encontrar a melhor função $f(t_r)$. A equação com o melhor coeficiente de determinação foi a Equação (1). Dessa forma, a equação que ajusta as tensões de pico para os diferentes tempos de repouso e taxas de deformação está apresentada na Equação (2). O ajuste e os dados experimentais estão apresentados na Figura 3.

$$\frac{-1,83680+t_r}{-1,83680+0,25210t_r} + 0,00009t_r \quad (1)$$

$$\tau_p = (0,14 + 0,14\dot{\gamma}_p^{0,81}) \left(\frac{-1,83680+t_r}{-1,83680+0,25210t_r} + 0,00009t_r \right) \quad (2)$$

Figura 3 – Comparação entre os resultados experimentais e os ajustes para FP base água





Fonte: A autoria própria (2021)

4 CONCLUSÃO

É possível perceber que, ao contrário do esperado, as tensões de pico para as menores taxas de deformação impostas caíram com o aumento do tempo de repouso. Porém o mesmo efeito não é visto em taxas mais altas.

Como a função gerou um bom ajuste aos dados, um futuro teste em testes de reinício de outros fluidos pode confirmar, ou não, a eficácia da previsão. Também é possível que o resultado obtido seja útil apenas para o fluido testado ou outros fluidos com características reológicas semelhantes.

Os resultados para o FP base água foram melhores para as taxas de deformação mais altas, porém os resultados dos 3 tempos de repouso não foram muito diferentes entre si. Vale ressaltar que o reômetro utilizado para o teste de reinício não possui controle direto da taxa de deformação e, portanto, alguns segundos se passam até que a taxa definida seja realmente alcançada. Ainda cabe ressaltar que o pico de tensão ocorre quando o reômetro ainda não atingiu a taxa de deformação estabelecida, podendo obter dados diferentes dos reais.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio recebido da agência de financiamento Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq). Ainda, os autores agradecem o laboratório multiusuário da UTFPR campus Curitiba: Laboratório de Reometria (LabReo).

REFERÊNCIAS

- DA SILVEIRA, W.M.V. **Modelagem computacional tridimensional do descarte de resíduos de fluidos complementares de cimentação de poços de petróleo**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense, [S. l.], 2016.
- GOUVEIA, Flávia. Tecnologia nacional para extrair petróleo e gás do pré-sal. **Conhecimento & Inovação**, v. 6, n. 1, p. 30-35, 2010.
- KOKE, Johannes; MODIGELL, Michael. Flow behaviour of semi-solid metal alloys. **Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics**, v. 112, n. 2-3, p. 141-160, 2003.