Análise do efeito da tixotropia na taxa de acúmulo de cascalhos por sedimentação

Analysis of the thixotropy effect on the cuttings accumulation rate by sedimentation

Isabelly Behlau Spindola*, Alan Lugarini de Souza†,
Admilson Teixeira Franco ‡

RESUMO

Durante as paralisações da circulação do fluido de perfuração no poço de petróleo e gás, os fragmentos e cascalhos suspensos se acomodarão no fundo e, após algum tempo, há um sério risco de a broca de perfuração ficar presa se nenhuma ação for tomada. Ao calcular a taxa de acúmulo de cascalhos e a altura do leito durante a circulação, é possível prever quando o poço estará em risco. Os fluidos cuja viscosidade depende do tempo de envelhecimento são chamados de tixotrópicos e são comumente usados na perfuração de poços - esses fluidos gelificam, o que pode possivelmente manter as partículas estáticas. No entanto, a gelificação é um processo lento ou a força de gelificação não é alta o suficiente, portanto, uma rotina numérica rápida e confiável para estimar a altura de acumulação ao longo do tempo é desejável. Este trabalho apresenta um procedimento numérico simples desenvolvido para calcular a evolução temporal da altura do leito formado. Uma série de casos foram simulados, com fluidos Herschel-Bulkley e Bingham, usando este método rápido e direto, com objetivo de analisar quais os efeitos da tixotropia na sedimentação de partículas, o que pode ajudar engenheiros de campo a avaliar os riscos em casos de paralisação da circulação.

Palavras-chave: tixotropia, taxa de acúmulo, sedimentação.

ABSTRACT

During drilling mud circulation stoppages in oil and gas wellbore, suspended cuttings will settle towards the bottom, and after some time, there is a severe risk of the drill pipe getting stuck if no action is taken. By calculating the cuttings accumulation rate and bed height during the circulation, stop is possible to predict when the well will become at risk. Fluids for which the viscosity depends on the aging time are called thixotropic and are commonly used in well drilling—these fluids gelify, which can possibly hold the particles still. However, gelification is sometimes a slow process, or the gel strength is not high enough, so a fast and reliable numerical routine for estimating the accumulation height over time is desirable. This work presents a simple numerical procedure developed to calculate the temporal evolution of the height of the pile bed. A series of simulated cases, with Herschel-Bulkley and Bingham fluids, using this fast and straightforward method, in order to analyze the effects of thixotropy on particle sedimentation, which can help field engineers assess the risks in cases of circulation stoppages.

Keywords: thixotropy, accumulation rate, sedimentation.

* Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; isabelyspindola@alunos.utfpr.edu.br
† Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; alansouza@utfpr.edu.br
‡ Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil; admilson@utfpr.edu.br

1 INTRODUÇÃO

Um dos maiores desafios na perfuração de poços são os incidentes de brocas presas, esses eventos geralmente levam a uma quantidade significativa de tempo perdido e custos associados (MUQEEM et al., 2012). Entre as formas de evitar esses acidentes está a previsão da taxa de acúmulo e altura do leito formado durante as interrupções na circulação de fluido no poço de óleo e gás. A circulação de fluido pode parar devido a vários motivos, por exemplo, perda de fluido ou falta de potência de bombeamento.

Os fluidos de perfuração desempenham funções importantes durante uma operação de perfuração, como o transporte vertical de fragmentos e cascalhos perfurados para a superfície e o equilíbrio das pressões da formação. Os fluidos de perfuração geralmente apresentam comportamento de pseudoplasticidade e tensão de escoamento, e a maioria dos fluidos de perfuração também exibe tixotropia (SKADSEM et al., 2019). Uma vez que o fluido de perfuração é quase totalmente parado, o caso de interrupção da circulação pode ser abordado como um fenômeno de sedimentação de partículas. A altura do leito é prevista aproximando-se da velocidade de escorregamento pela velocidade teórica terminal, e com base no deslocamento de uma única partícula (MITCHELL ,2011).

As partículas que se sedimentam em um fluido tixotrópico podem atingir um estado estacionário, mas levará muito mais tempo. A abordagem numérica mais comum em estados transientes é adotar o rastreamento Euleriano para partículas considerando o fluido como uma fase contínua, porém, mesmo alcançando bons resultados, isso requer muito tempo e um grande número de recursos computacionais, já que a velocidade de deposição de partículas deve ser atualizada a cada passo de tempo.

As referências (PENAS; LUGARINI; FRANCO,2020) trazem um modelo numérico simplificado para a simulação de fluidos de perfuração com diferentes propriedades. Há também (GHASEMIKAFRUDI, 2016) analises com CFD dos efeitos dos parâmetros reológicos no transporte de cascalhos, em que se conclui que a elevada viscosidade é um parâmetro eficaz para o transporte de partículas em uma determinada faixa e o aprimoramento do transporte de cascalhos devido ao aumento da tensão de escoamento ser insignificante, mas é claro que o efeito disso na queda de pressão é significativo.

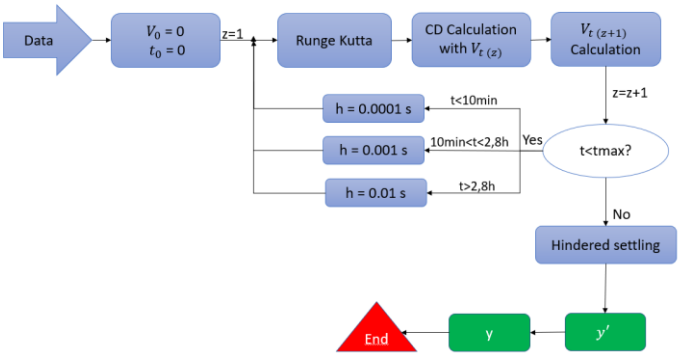
Motivado pela carência de um estudo que caracterize a interferência da tixotropia na taxa de acúmulo de cascalhos, este trabalho apresenta uma rotina numérica para analisar como esses parâmetros se comportam, além de investigar qual dos parâmetros, tensão de gelifcação ou do tempo de gelificação, tem maior influência na taxa de acúmulo e altura do leito formado.

2 MÉTODO

As equações e métodos numéricos utilizadas para o cálculo da evolução temporal da altura do leito formado foram retiradas da referência (PENAS; LUGARINI; FRANCO, 2020) e incluem a discretização Range-Kutta de quarta ordem, utilizada para resolver explicitamente o movimento de uma partícula, e para o efeito de aglomeração de partículas, foi adotado hindered settling. Propriedades tixotrópicas, como tensão de gelificação e tempo de gelificação, são consideradas no cálculo da velocidade da partícula e, portanto, na taxa de acúmulo.

A lógica de funcionamento do software desenvolvido é mostrada no fluxograma da Figura 1. Para realizar a análise são utilizados dados típicos de fluidos utilizados em poços de perfuração, mostrados na Tabela 1, adotando modelos de fluidos Herschel-Bulkley e Bingham.

Figura 2 – Fluxograma do programa.



Fonte: Autoria própria (2021).

Tabela 1 – Valores das propriedades do fluido e cascalho utilizados.

Fluido		
Densidade	10	ppg
Fator de consistência, K	0.1	-
Índice de potência, n	0.75	-
Tensão de escoamento	0.5	Pa
Tensão de gelificação	0.5	Pa
	5	Pa
	50	Pa
Tempo de gelificação	10	min
	100	min
	1000	min
Cascalho		
Densidade	20	ppg
Fração volumétrica empacotada	0.5	-
Fração volumétrica da suspenção	0.005	-
	0.01	-
	0.05	-

Fonte: Autoria própria (2021).

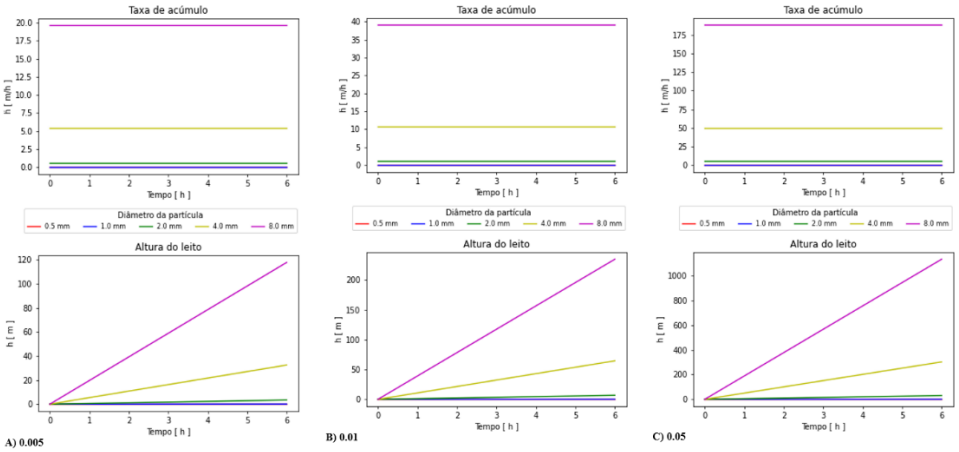
3 RESULTADOS

Para o caso em que a tensão de escoamento é igual a tensão de gelificação τg a taxa de acúmulo não variou com tempo de gelificação tq, como mostrado na Figura 2. A Figura 3 mostra que a taxa de acúmulo varia linearmente com a fração da suspenção volumétrica, já a Figura 4 revela uma relação de segundo grau entre a taxa de acúmulo e o diâmetro das partículas.

A Figura 5 demonstra a variação da altura do leito formado após seis horas, para 0.01 de fração volumétrica da suspensão e tq igual a 100 minutos, para diferentes tamanhos de partículas. A Figura 6 mostra os mesmo

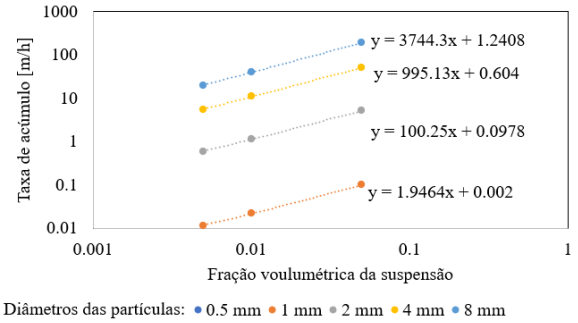
parâmetros, porém variando tq para τg = 5 Pa. Percebe-se que τg tem uma influência maior do que tq na altura do leito formado.

Figura 2– Taxa de acúmulo e altura para τg= 0.5 Pa com fração volumétrica da suspensão A) 0.005 B) 0.01 C) 0.05.



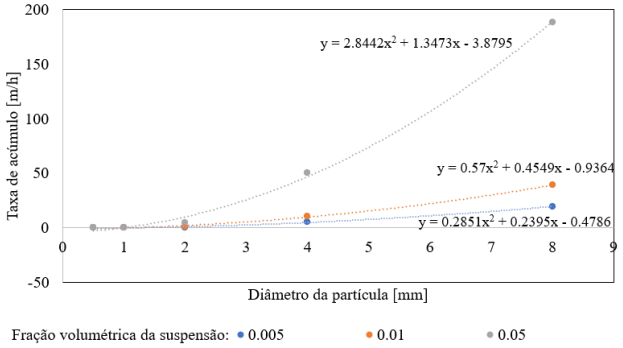
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 3 – Taxa de acúmulo em relação a fração volumétrica para τg= 0.5 Pa.



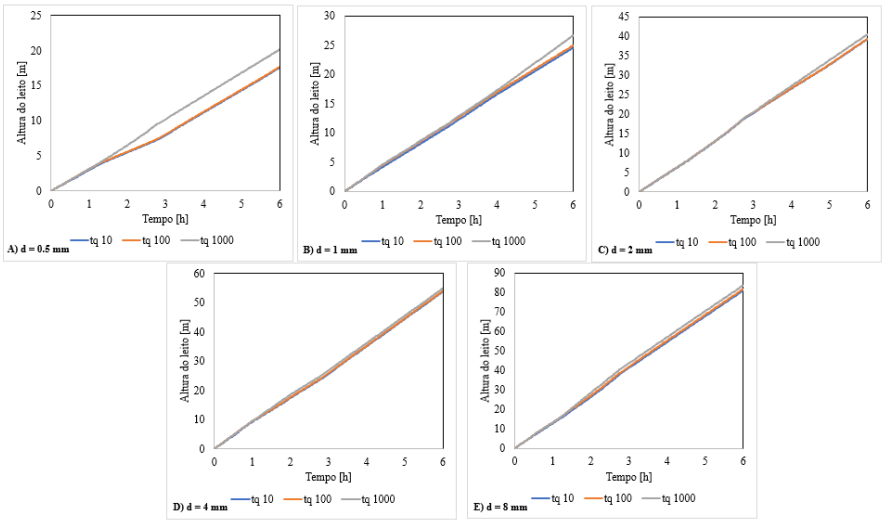
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 4 – Taxa de acúmulo em relação ao diâmetro das partículas para τg= 0.5 Pa.



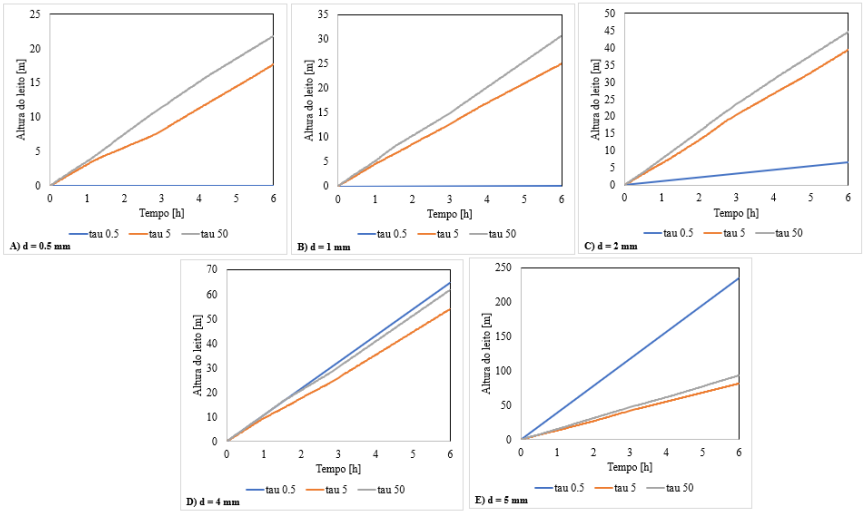
Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 5 – Altura para τg= 5 Pa e fração volumétrica do leito de 0.01 para diâmetros de partículas A) 0.5 mm, B) 1 mm, C) 2 mm , D) 4 mm e E) 8 mm.



Fonte: Autoria própria (2021).

Figura 6 – Altura para tq = 100 minutos e fração volumétrica do leito de 0.01 para diâmetros de partículas A)0.5 mm, B) 1 mm, C) 2 mm , D) 4 mm e E) 8 mm.



Fonte: Autoria própria (2021).

4 CONCLUSÃO

O trabalho analisou o comportamento da formação da altura do leito com o tempo para diferentes fluidos tixotrópicos típicos de poços de perfuração. Conclui-se que das propriedades tixotrópicas analisadas, tq e τg, a tensão de gelificação é a que apresenta maior influência na taxa de acúmulo e altura do leito formado. Essa

informação auxilia na escolha dos fluidos de perfuração, uma vez que a tensão de gelificação é o parâmetro de tixotropia mais relevante, baseado nas análises apresentadas. Para o caso em que a tensão de escoamento é igual a tensão de gelificação a taxa de acúmulo não varia com tempo de gelificação. Constata-se também que a taxa de acúmulo cresce linearmente com a fração volumétrica da suspenção, além de aumentar quadraticamente com o diâmetro da partícula, portanto para poços em que a fração volumétrica seja alta ou que as partículas sejam grandes deve-se atentar-se ao perigo de a broca ficar presa. Sugere-se como trabalhos futuros a continuação do estudo de modo a caracterizar matematicamente ou quantitativamente a variação da altura do leito com a tensão de gelificação e tempo de gelificação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à CNPq pelo apoio para a realização e apresentação deste trabalho.

REFERÊNCIAS

GHASEMIKAFRUDI, E.; HASHEMABADI, S. H. Numerical study on effects of drilling mud rheological properties on the transport of drilling cuttings. **Journal of Energy Resources Technology**, v. 138, n. 1, 2016.

MITCHELL, Rober et al. **Fundamentals of drilling engineering**. Society of Petroleum Engineers, 2011.

MUQEEM, Muhammad A.; WEEKSE, Alexander E.; AL-HAJJI, Ali A. Stuck Pipe Best Practices–A Challenging Approach to Reducing Stuck Pipe Costs. In: **SPE Saudi Arabia Section Technical Symposium and Exhibition**. OnePetro, 2012.

PENAS, Pablo; LUGARINI, Alan; FRANCO, Admilson. **A mathematical and numerical model to estimate the rate of cuttings accumulation in wellbore bottom during shutdouwns of fluid circulation**. 18th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering, [s. l.], 2020.

SKADSEM, Hans Joakim; LEULSEGED, Amare; CAYEUX, Eric. Measurement of drilling fluid rheology and modeling of thixotropic behavior. **Applied Rheology**, v. 29, n. 1, p. 1-11, 2019.