



Projeto de bancada experimental para sedimentação de partículas em fluidos não-newtonianos

Design of an experimental setup for particle sedimentation in non-newtonian fluids

Luis Henrique Milori¹, Yamid J. García-Blanco², Eduardo Matos Germer³

RESUMO

Este trabalho trata do projeto e montagem de uma bancada experimental em forma de tanque de sedimentação, utilizado pra experimentos de sedimentação de partículas em fluidos não-newtonianos. A motivação do trabalho se deu pela ampla utilização desses materiais em operações de perfuração de petróleo, além da ocorrência frequente de sedimentação de partículas durante esses processos. A necessidade de análises experimentais provém do comportamento complexo e particularidades desses fluidos, durante o processo de sedimentação. Foram utilizadas metodologias presentes na literatura para o desenvolvimento do tanque, além de medidas coerentes com aquelas encontradas em operações de perfuração. O projeto do tanque foi realizado com medidas base de 1200mm de altura e 194mm de diâmetro, além de modelo tridimensional desenvolvido em software. Após a montagem, foram realizados testes preliminares com 5 partículas para observar certas propriedades durante a sedimentação. A comparação com a literatura comprova que os testes foram bem-sucedidos e demonstraram que posteriores experimentos podem ser realizados na bancada, a fim de obter mais dados a respeito do fenômeno.

PALAVRAS-CHAVE: Bancada; Fluidos; Projeto; Sedimentação.

ABSTRACT

This work is about the project and assembling of an experimental setup as an sedimentation tank, used in experiments of particles sedimentation in non-newtonian fluids. The motivation of the work comes from the large use of these materials in oil drilling processes, as well as the frequent occurrence of particles sedimentation during these processes. The necessity of experimental analysis comes from the fluid's complex behavior and particularities during the sedimentation process. Methodologies based on information in the literature were used for the tank development, as well as dimensions consistent with those used in drilling processes. The design of the tank was carried out with measurements based on 1200mm height and 194mm diameter, in addition to a three-dimensional model developed in software. After assembly, preliminary tests were performed with 5 particles to observe certain properties during sedimentation. The comparison with the literature proves that the tests were successful and demonstrated that subsequent experiments can be performed on the bench in order to obtain more data about the phenomenon.

KEYWORDS: Setup; Fluids; Project; Sedimentation

¹ Bolsista PIBIT do CNPq. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: luishenriquemilori@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/5988037205634710>.

² Pesquisador no Centro de Pesquisa em Reologia e Fluidos Não Newtonianos (CERNN), Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: yamidblanco@alunos.utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/3586400259282503>.

³ Docente no Departamento Acadêmico de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, Paraná, Brasil. E-mail: eduardomg@utfpr.edu.br. ID Lattes: <http://lattes.cnpq.br/2932295996006714>.



INTRODUÇÃO

Nos processos de perfuração de petróleo, há ampla utilização dos denominados fluidos não-newtonianos, os quais exercem funções como resfriamento da broca, manutenção da pressão no poço, remoção, suspensão e transporte de partículas (COMMITTEE et al., 2011). Nesse sentido, é indispensável, para a indústria petrolífera, conhecer o comportamento desses fluidos e o modo como interagem com as demais substâncias presentes no poço, para garantir o sucesso e a segurança da atividade.

Os fluidos não-newtonianos são utilizados por conta de apresentarem comportamento complexo, ou seja, características como alteração de sua viscosidade de acordo com a tensão a qual está submetido e comportamento sólido/gelatinoso quando em repouso ou baixas tensões (COMMITTEE et al., 2011). Assim, os fluidos exercem suas funções de modo dinâmico e versátil durante a perfuração, além de tornar possível sua utilização nas condições adversas de temperatura e pressão nos poços. Entretanto, por conta dessas características, é necessária uma análise mais cuidadosa nas interações desses fluidos em processos envolvendo outros elementos, como sedimentação e transporte de partículas.

A sedimentação de partículas em fluidos complexos é observada durante a perfuração, nas partículas adensantes que são introduzidas ao fluido para modificar algumas de suas propriedades e no transporte de detritos provenientes dos poços, que sedimentam em casos de interrupção na perfuração. Além disso, é comum partículas de argila serem sedimentadas em poços abandonados, realizando seu tapamento e evitando danos ambientais (PIVOVARSKI et al., 2022). Conhecer variáveis como a velocidade de sedimentação dessas partículas é fundamental na exploração do petróleo, uma vez que permite determinar o comportamento do fluido na presença delas, quantas partículas serão sedimentadas e quando o farão (ELGADDAFI et al., 2012).

Nessa perspectiva, o objetivo desse trabalho é o projeto e montagem de uma bancada na forma de um tanque de sedimentação, com a proposta de obter uma abordagem experimental para visualizar a sedimentação de partículas em fluidos não-newtonianos. O processo de projeto do tanque parte de idealização e dimensionamento da estrutura a ser montada, com base nas aplicações típicas dos fluidos e das partículas, seguindo para modelo tridimensional feito em software e seleção dos materiais adequados, visando visibilidade, resistência e vedação da estrutura.

MATERIAIS E MÉTODOS

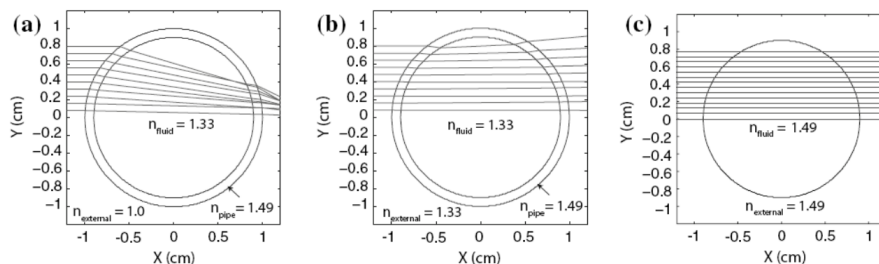
LEVANTAMENTO DA INFORMAÇÃO

Na exploração do petróleo, as colunas de perfuração apresentam diâmetro variando entre 4,5" até 6,5" (114,3mm – 165,1mm), enquanto as partículas apresentam diâmetro médio de 10mm. Uma vez que certos fenômenos e propriedades observados durante a sedimentação dependem das dimensões do meio em que ela acontece, é importante utilizar medidas semelhantes às aquelas encontradas na prática. Nesse sentido, o dimensionamento do tanque foi feito seguindo a ordem de grandeza das colunas, a fim de simular com maior precisão o comportamento das partículas.

Da mesma forma, as partículas utilizadas nos experimentos apresentam diâmetros, materiais e formas geométricas variadas, uma vez que esses aspectos influenciam no processo de sedimentação (ELTILIB; AL-KAYIEM; JAAFAR, 2011).

Tratando-se de visualização em meios fluidos, devem ser levados em consideração os desvios de propagação enfrentados pela luz, que causam distorções na observação das partículas. Ao atravessar o fluido de estudo e a superfície do tanque, a luz sofre desvio em sua trajetória, alterando a posição aparente da partícula imersa e interferindo na análise da sedimentação. Esses desvios são provocados pela diferença refrativa e geométrica dos meios pelos quais a luz se propaga, isto é, os índices de refração das substâncias e a curvatura do tanque. Uma possível solução para apaziguar esse desvio é por meio da utilização de outro fluido com índice de refração igual ou semelhante ao do fluido estudado, ao redor do tanque a ser visualizado, como demonstrado na Figura 1 (RAFFEL et al., 2018).

Figura 1 – Desvio na propagação da luz com a) índices de refração diferentes entre os meios, b) índices iguais entre meios interno e externos, mas diferente no recipiente e c) iguais entre meios interno e externo.



Fonte: Raffel et al. (2018).

MATERIAIS E APARATOS

Por conta das informações previamente mencionadas, escolheu-se utilizar um tanque interno de acrílico com 194mm de diâmetro interno, 1200mm de altura e 3mm de espessura, buscando similaridade com as medidas práticas. A espessura do tanque proporciona resistência sem comprometer a visibilidade do interior, enquanto sua altura possibilita a sedimentação por um longo intervalo de tempo, facilitando a coleta e análise de dados. Além disso, foi projetada uma estrutura externa ao redor do tanque, com intuito de conter água para remover as possíveis distorções citadas. Como apresentado na Tabela 1, a água apresenta índice de refração semelhante ao do acrílico e de determinados materiais utilizados para estudo, como a glicerina. Isso permite que a técnica de visualização funcione bem, e que as distorções sejam minimizadas.

A estrutura externa projetada é retangular, constituída de chapas de acrílico nas faces e base inseridas em perfis de alumínio nas arestas como suporte. As chapas das faces, com medidas de 22x120x3mm, apresentam a função de conter o tanque interno e a água. A chapa da base apresenta 22x22x10mm, com maior espessura a fim de suportar todo o peso dos fluidos. Todas as chapas são inseridas nas canaletas dos perfis utilizando-se borracha e silicone de vedação, vedando a estrutura. Foram também utilizados perfis para desenvolver uma base maior à bancada, provendo mais suporte.

Para a liberação das partículas a serem sedimentadas, foi desenvolvido um sistema utilizando



Tabela 1 – Índices de refração dos materiais de interesse.

Material/fluido	Índice de refração
Vidro de borossilicato	1,47-1,49
Acrílico	1,49
Água	1,33
Glicerina	1,33-1,47
Solução de gel de ultrassom	1,4-1,5

Fonte: Raffel et al. (2018).

mangueira a vácuo controlada remotamente por meio de Arduino. A liberação foi projetada de modo a causar menor perturbação possível no fluido ao entrar em contato com a partícula, evitando alterações indesejadas no processo de sedimentação. Para remoção dos fluidos e das partículas já sedimentadas, foram inseridas válvulas na base de acrílico interna e externamente ao tanque interno.

Para a visualização da sedimentação das partículas no tanque, foi utilizada uma câmera de alta velocidade posicionada em frente à parte superior da estrutura, responsável por captar e transmitir as imagens a serem analisadas no software *tracker*. A análise das imagens permite obter dados como posição e velocidades da partícula durante sua sedimentação, que permitem compreender o comportamento desenvolvido no processo. Além disso, esses dados podem ser usados para calcular demais propriedades como o coeficiente de arrasto, valor que quantifica a resistência da partícula para sedimentar no meio fluido, fundamental para o estudo desse fenômeno.

PROJETO EM *SOLIDWORKS* E MONTAGEM

Um modelo inicial do tanque foi modelado no software *Solidworks*, a fim de obter uma percepção tridimensional do projeto.

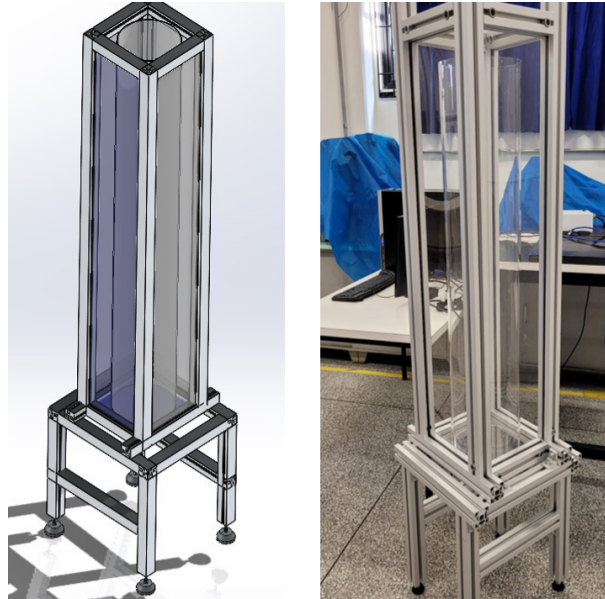
Após seleção e compra dos materiais necessários, deu-se início à montagem do tanque. Os perfis foram unidos uns aos outros por meio de cantoneiras de fixação e conectores tipo âncora. As chapas de acrílico foram inseridas entre os perfis, juntamente com as borrachas e silicone de vedação. A comparação entre o modelo inicial e o tanque finalizado pode ser visualizada na Figura 2.

RESULTADOS

Em estado de finalização, foram realizados testes preliminares de sedimentação no tanque, com o intuito de verificar se a bancada cumpria as funcionalidades requeridas. Fez-se uma triplicata de testes de sedimentação em água de 5 partículas esféricas, com diferentes diâmetros (d_p) e material de poliacetal. Foi feito rastreamento das posições das partículas durante a sedimentação com uma câmera de alta velocidade. As imagens foram transmitidas ao software *tracker*, onde obteve-se a velocidade (V_s) de sedimentação das partículas. Com a Equação 1 foi possível calcular o coeficiente de arrasto (C_{De}) experimental, a partir do balanço de forças nas partículas no fluido com densidade $\rho_f = 1150 \text{ Kg/m}^3$ e viscosidade dinâmica $\mu = 0,0051 \text{ Pa}\cdot\text{s}$. Os dados obtidos são apresentados na Tabela 2.



Figura 2 – Projeto em *Solidworks* do tanque (esquerda) e sua montagem em estado final (direita)



Fonte: Autores (2023)

Tabela 2 – Dados calculados de cada partícula.

d_p [m]	V_s [$m \cdot s^{-1}$]	C_{De} [-]	C_{corr} [-]	Diferença [%]
0,0031	0,0739	1,3549	1,4522	7
0,0048	0,1090	0,9562	0,9605	0
0,0064	0,1391	0,7778	0,7680	1
0,0080	0,1712	0,6470	0,6554	1
0,0100	0,1998	0,5939	0,5835	2

Fonte: Autores (2022)

O coeficiente de arrasto experimental obtido foi comparado com a correlação encontrada na literatura (C_{corr}) (MORRISON, 2013).

$$C_{De} = \frac{4 d_p g \rho_p - \rho_f}{3 V_s^2 \rho_f} \quad (1)$$

em que g é a aceleração da gravidade, ρ_p é a massa específica da partícula, ρ_f é a massa específica do fluido e V_s é a velocidade de sedimentação da partícula que é dada pela Equação 2 (ZANKER, 1980). A correlação é obtida por meio da Equação 3 (MORRISON, 2013).

$$V_s = 1,74 [d_p g (\frac{\rho_p}{\rho_f} - 1)]^{1/2} \quad (2)$$

$$C_{corr} = \frac{24}{Re} + \frac{2,6(\frac{Re}{5,0})}{1 + (\frac{Re}{5,0})^{1,52}} + \frac{0,411(\frac{Re}{26300})^{-7,94}}{1 + (\frac{Re}{26300})^{-8}} + \frac{0,25 \frac{Re}{10^6}}{1 + \frac{Re}{10^6}} \quad (3)$$

em que Re é o número de Reynolds do escoamento, utilizado para determinar o tipo de regime em que esse se encontra e calculado pela relação $Re = \frac{\rho_f V_s d_e}{\mu}$, em que d_e representa o diâmetro do canal no qual ocorre o escoamento.



CONCLUSÃO

O tanque desenvolvido mostrou-se adequado para realização de experimentos envolvendo sedimentação de partículas em fluidos não-newtonianos. O teste preliminar foi bem-sucedido e os resultados obtidos foram satisfatórios, uma vez que apresentaram diferença máxima (7%) dentro do aceitável em relação aos dados da literatura, para o intervalo de imprecisão das medições. Mais experimentos no tópico devem ser realizados por conta da construção dessa bancada, promovendo maior coleta de dados e mais informações a respeito de tal fenômeno.

Agradecimentos

Agradeço o apoio financeiro da CNPq, Fundação Araucária e UTFPR através do Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Tecnológica (PIBIT).

Conflito de interesse

Não há conflito de interesse.

REFERÊNCIAS

- COMMITTEE, ASME Shale Shaker ASME Shale Shaker et al. **Drilling fluids processing handbook**. [S.l.]: Elsevier, 2011.
- ELGADDAFI, Rida et al. Settling behavior of spherical particles in fiber-containing drilling fluids. **Journal of Petroleum Science and Engineering**, Elsevier, v. 84, p. 20–28, 2012.
- ELTILIB, RAEE; AL-KAYIEM, Hussain H; JAAFAR, Azuraien. Investigation on the particle settling velocity in non-Newtonian fluids. **Journal of Applied Sciences**, Science Alert, 2011.
- MORRISON, Faith A. Data correlation for drag coefficient for sphere. **Department of Chemical Engineering, Michigan Technological University, Houghton, MI**, v. 49931, 2013.
- PIVOVARSKI, Roderick Gustavo et al. **Numerical study on the use of bentonite pellets as primary material for oil and gas wells decommissioning**. 2022. Diss. (Mestrado) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná.
- RAFFEL, Markus et al. **Particle image velocimetry: a practical guide**. [S.l.]: Springer, 2018.
- ZANKER, A. **NOMOGRAPHS DETERMINE SETTLING VELOCITIES FOR SOLID-LIQUID SYSTEMS**, 1980.