

10º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



Realização



TÍTULO DO TRABALHO:

Estudo da influência do comportamento reológico de petróleo com diferentes densidades quantificado pela tecnologia do medidor ultrassônico

AUTORES:

Marcelle da Silva Pereira, Jaqueline Teixeira Diamantino, Juliane Rodrigues Oliveira, Bela Rodrigues, Rosivânia da Paixão Silva Oliveira

INSTITUIÇÃO:

LCPP/NUPEG/UFS

Estudo da Influência do Comportamento Reológico de Petróleo com Diferentes Densidades Quantificado pela Tecnologia do Medidor Ultrassônico

Abstract

In Brazil, the payment of oil production royalties to the Union by the oil exploration and production industries represents a significant portion of the national revenue. With the growing evolution of the oil industry and its contribution to the world economic scenario, it is thus evidenced the importance of quantifying and monitoring the volumes of oil produced through specialized instruments calibrated in accordance with already established regulatory standards. To measure the volume of oil produced and treated, flow meters are used in the production lines and in the oil transfer line, which is located after the fluid treatment. The National Petroleum Agency (ANP) requires oil flow meters to be calibrated under conditions similar to those at the actual production site. However, this work aimed to study the behavior of oil with different degrees of density to be quantified by the ultrasonic meter, oil flow measurement instrument. Experimental tests were performed on a pilot plant that performs full scale measurements. The study of rheological behavior sought to address the need for diffusion of complex fluid studies among the academic community in order to drive scientific and technological innovation. Similarly, the oil industry is interested in the rheological characterization of complex fluids to solve or minimize problems involved in oil flow, including when sold or transferred, where it needs measurement. As a result, the flow curves showed the increase in viscosity with shear stress application time variation, showing a linear relationship between shear stress and strain rate from the moment a shear stress is reached. At first, the characteristic behavior of a non-Newtonian fluid in high grade API oil.

Keywords: Flow meter, Rheological Characterization, Ultrasonic Meter.

Introdução

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais em função de sua elasticidade e viscosidade quando submetidos a algum tipo de esforço. A deformação consiste na alteração da forma ou tamanho de um corpo por ação de uma força externa e o escoamento caracteriza-se pela variação contínua do grau de deformação com o tempo [1]. Assim, a reologia busca prever o sistema de forças que correspondem a uma dada deformação ou escoamento de um corpo, ou inversamente, prever a deformação ou escoamento resultante da aplicação de um sistema de forças ao corpo [2].

Inúmeras operações nas indústrias utilizam fluidos com características complexas. O estudo completo do comportamento mecânico e da natureza de cada um desses fluidos é necessário para determinar suas aplicações em procedimentos como dimensionamento de bombas, tubulações, trocadores de calos, misturadores, entre outros. Os fluidos podem ser classificados, de modo geral, de acordo com a relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação em newtoniano ou não-Newtoniano. [3,4].

Os fluidos nos quais a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação são chamados Newtonianos. Os fluidos não-Newtonianos são todos os fluidos nos quais a tensão de cisalhamento não é diretamente proporcional à taxa de deformação. Ou seja, quando a viscosidade de um fluido depende apenas da pressão e da temperatura são ditos fluidos Newtonianos, caso contrário, se a viscosidade varia também com a taxa de deformação, então temos os fluidos não-Newtonianos.

Os fluidos não-Newtonianos podem considerar ou não o efeito do tempo sobre a relação tensão de cisalhamento – taxa de deformação. O comportamento reológico dos fluidos considerados puramente viscosos, pode ser definido pela relação entre a tensão cisalhante e a taxa de deformação, podendo ser representado, graficamente, por meio de Curvas de Fluxo, que envolvem uma determinada temperatura e pressão [4,6].

Em qualquer processo utilizando ou produzindo um fluido, há necessidade de saber quanto deste fluido escoar num determinado espaço de tempo. Esta grandeza é chamada vazão. Em uma tubulação, a vazão pode ser determinada por uma quantidade de volume do fluido em uma determinada quantidade de tempo ou pela velocidade deste fluido multiplicada pela área de uma seção reta da tubulação [5].

O petróleo é uma importante fonte de energia para qualquer país. É um recurso com grande influência na economia mundial, sendo motivo de crescimento ou de recessão dos países. Devido ao seu alto valor comercial, possui uma das mais vastas coleções de normas aplicáveis à medição de seu volume. Durante muitos anos o monopólio da União sobre a exploração e produção de petróleo e gás natural era exercido pela Petrobras e esta era a responsável por medir, arrecadar e distribuir os tributos provenientes destes recursos. Com a criação da Agência Nacional do Petróleo (ANP), através da Lei nº 9.478/97, e sua implantação com o Decreto nº 2.455/98 se fez necessária a criação de um documento que uniformizasse os sistemas de medição para que a ANP pudesse exercer sua função de agência reguladora de maneira mais eficiente [5,8].

Como órgão regulador das atividades do setor, a ANP, em conjunto com o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade Industrial) estabeleceu, em 19 de Junho de 2000, através da Portaria Conjunta ANP/INMETRO nº 1 o Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural (RTM). Este regulamento foi fundamental para a uniformização dos critérios de medição da produção de petróleo e gás natural, já que ele estabeleceu todas as condições e requisitos mínimos que os sistemas de medição devem possuir a fim de garantir confiabilidade [8, 9].

Conforme a produção de petróleo no Brasil vem crescendo nas últimas décadas, a medição deste fluido vem ganhando cada vez mais importância na área de exploração e produção. Isto é explicado basicamente pelo interesse da União, dos Estados e Municípios nos impostos pagos pelas empresas detentoras dos direitos de exploração e produção de petróleo no Brasil. Os valores pagos em impostos diretos chegam, somente pelo direito de explorar e produzir petróleo, a cifras bilionárias anualmente [5].

A medição de volume de petróleo normalmente é realizada de duas maneiras: em tanque ou em linha, sendo que nesta última é medida a vazão e o volume é calculado em um determinado intervalo de tempo. Para aplicações de medição fiscal, de apropriação ou transferência de custódia de petróleo, são comumente utilizados os medidores ultrassônico, mássico Coriolis, turbina ou de deslocamento positivo. Contudo, para medir com confiabilidade é preciso utilizar medidores de alto desempenho, e estes devem ser verificados e calibrados periodicamente [5].

A medição ultrassônica tem se tornado uma das mais aplicadas atualmente. A flexibilidade de medir diversos fluidos, aliada a uma grande faixa de vazão e perda de carga praticamente nula, além de diagnósticos, tanto para o medidor quanto para o perfil de velocidades do escoamento do fluido, além de requerer pouca manutenção, contribuem para esta preferência. A tecnologia ultrassônica é utilizada na medição de vazão por meio dos medidores do tipo tempo de trânsito e do tipo Doppler. No primeiro, é avaliada a diferença entre os tempos de trânsito ou entre as frequências de ida e volta do sinal ultrassônico. No segundo, o sinal acústico é emitido continuamente e refletido nas impurezas ou bolhas contidas no fluido. Estas refletem e alteram a frequência do sinal medido pelo receptor, sendo a diferença proporcional à velocidade do fluido [7].

Desta forma, fluidos não-newtonianos apresentam comportamento complexo, que deve ser pesquisado e entendido para que sua aplicabilidade aumente cada vez mais, visto que suas características são importantes para o avanço tecnológico em diversos setores, como a indústria petrolífera (segmento no qual o presente trabalho este inserido), farmacêutica, de cosméticos, entre outras [3]. Após aqui apresentados os conceitos de reologia e vazão de fluidos, a importância do órgão regulador, os tipos de quantificadores de vazão, assim como características do medidor ultrassônico e sua tecnologia, é definida a questão principal que motiva este trabalho: o estudo do comportamento reológico de um fluido submetido à medição por tecnologia ultrassônica. Através dos resultados obtidos pôde-se avaliar como um petróleo com diferentes densidades comporta-se ao fluir através de uma matriz de teste para medidor ultrassônico.

Metodologia

A primeira etapa deste trabalho baseou-se na análise da eficácia da tecnologia ultrassônica. As análises foram realizadas em uma unidade metrológica de vazão de líquido, a qual está inserida em um circuito multifásico. O circuito é fechado e composto por analisadores dispostos em série, arranjados em trecho reto (em linha). Estas instalações visam testar analisadores de diversas tecnologias, e submeter equipamentos às condições reais de operação, avaliando os seus desempenhos e/ou durabilidades. O teste objeto deste trabalho tem o intuito de avaliar o desempenho do medidor ultrassônico na medição de vazão, para variados teores de BSW.

O circuito é composto por tanques de armazenamento de óleo e salmoura com capacidade volumétrica de 3m³ cada, e um tanque de mistura de mesma capacidade. Bombas de transferência de óleo, salmoura e bomba do tanque de mistura, medidor de vazão de referência, analisador de BSW, analisador de vazão objeto do teste e sensores de pressão e temperatura.

As bombas posicionadas na saída dos tanques permitem a transferência do fluido para o circuito de teste. Sendo assim, esta unidade permitiu o arranjo necessário para que o teste do quantificador de vazão fosse executado adequadamente, sendo capaz de fornecer resultados confiáveis e, consequentemente, uma correta análise da performance do medidor em questão.

A etapa subsequente consiste no estudo reológico do fluido utilizado, tem como objetivo analisar as curvas de fluxo e viscosidade, plotadas a partir dos dados fornecidos por ensaios reométricos. Os ensaios foram realizados nas dependências do Núcleo de Estudos em Sistemas Coloidais (NUESC) – Universidade Tiradentes (UNIT), localizado em Aracaju - SE.

Neste projeto foi utilizado um óleo “blindado” (mistura de petróleo do campo de Sergipe e óleo Diesel), com °API de 27,7, viscosidade a 20 °C de 21 cP e densidade de 0,9123 g/cm³, sendo a salinidade de 55g/L NaCl;

➤ Teste de Medidor de Vazão Ultrassônico

O teste com o medidor de vazão ultrassônico foi realizado em um laboratório com o circuito multifásico. O medidor de vazão funciona baseado na velocidade da propagação de ondas sonoras. Ele é do tipo carretel, possui 3 feixes para realização da medição e é capaz de operar na faixa de vazão entre 0 a 100m³/h. Já para BSW, opera na faixa de 13% a 60%.

O teste consiste na medição de vazão de petróleo leve em uma tubulação de trecho reto, onde ocorre variação de BSW. A montante do medidor foi instalado um misturador.

Para acompanhamento e posterior avaliação do desempenho dos medidores, foram gravados os dados brutos dos medidores de referência, dos instrumentos auxiliares (PT e TT) e do medidor em teste por um período de 10 minutos em cada ponto da matriz.

A vazão de referência de líquido foi medida utilizando um medidor mássico do tipo Coriolis. O teor de BSW de referência foi quantificado através do medidor.

➤ Caracterização Reológica do Petróleo

A caracterização reológica foi realizada através de um reômetro com tensão controlada, fabricado pela Anton Paar (modelo Physica MCR 301). O controle de temperatura é provido por um elemento do tipo Peltier, com faixa de trabalho de -30°C a 200°C, com incerteza de 0,1°C na medida da temperatura.

Para isso, utiliza-se a geometria de cilindros concêntricos, geralmente aplicada para fluidos pouco viscosos com altas taxas de deformação. É imposta uma rotação no cilindro (enquanto um deles gira, o outro permanece estático), onde o torque necessário para manter o rotor a uma determinada velocidade é uma medida da taxa de deformação.

Assim, através de testes rotacionais de varredura da taxa de cisalhamento (entre 0 e 100 s⁻¹), para temperaturas de 25° (temperatura ambiente) e 35°C, esta última trata-se da temperatura média do fluído escoando pode-se obter medidas de viscosidade e medidas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação.

Posteriormente, com auxílio do software SciDavis, as medidas obtidas são convertidas em curvas de fluxo e viscosidade. E, dessa forma, a análise gráfica permite classificar reologicamente o fluído.

Para garantir a confiabilidade da análise, os testes foram realizados em duplicata.

Resultados e Discussão

A tabela 1 apresenta os pontos testados durante o teste. Os pontos previstos a serem alcançados, assim como os dados medidos pelo Analisador de BSW, a vazão de referência quantificada por meio do Analisador de Referência e os dados de vazão obtidos através do medidor ultrassônico. Pequenas variações nos parâmetros são decorrentes das condições operacionais.

Os valores quantificados para vazão e teor de BSW foram obtidos através da média aritmética das medidas apresentadas por seus respectivos medidores.

O analisador de referência do circuito devidamente calibrado funciona como parâmetro de comparação, assim, permite avaliar a eficiência do medidor em teste. De acordo com a tabela 1, foi possível verificar que o analisador teve um desempenho satisfatório se comparado com o medidor de referência.

TABELA 1. Resultados da Matriz de Vazão

Nº de Pontos	Matriz de Teste		Analisadores de referência		Analisador de Vazão (m³/h)
	BSW (%)	Vazão (m³/h)	Analisador de BSW (%)	Analisador de Referência Vazão (m³/h)	
1	5	45	5,25	45,60	41,97
2	5	60	5,28	60,80	51,97
3	5	75	5,28	74,96	58,48
4	12	45	11,67	31,99	32,82
5	12	60	11,60	45,93	43,30
6	12	75	11,57	60,41	53,46
7	12	45	11,61	75,07	60,60
8	14	60	14,88	32,90	34,02
9	14	75	14,61	45,71	45,07
10	14	32	14,67	60,42	55,69
11	14	45	14,71	75,93	66,37
12	16	60	16,22	33,27	34,39
13	16	75	16,28	42,08	42,28
14	16	32	16,36	60,09	56,25

O erro percentual médio apresentado foi de 0,085, inferior a 1%, demonstrando que o equipamento é capaz de operar satisfatoriamente na quantificação de vazão de fluidos. Reafirmando, assim, a eficácia da utilização da tecnologia ultrassônica na indústria petrolífera.

A fim de aprofundar o conhecimento a respeito do escoamento do petróleo quantificado por meio de tecnologia ultrassônica, as curvas de fluxo resultantes dos testes reométricos evidenciaram o comportamento não-newtoniano, característico de óleo leve.

As Figuras 1 e 2 apresentam as curvas de fluxo (taxa de cisalhamento x tensão cisalhante) obtidas no ensaio reológico das amostras de óleo leve, nas temperaturas de 25 e 35°C, com taxas de cisalhamento de 0 a 100s⁻¹.

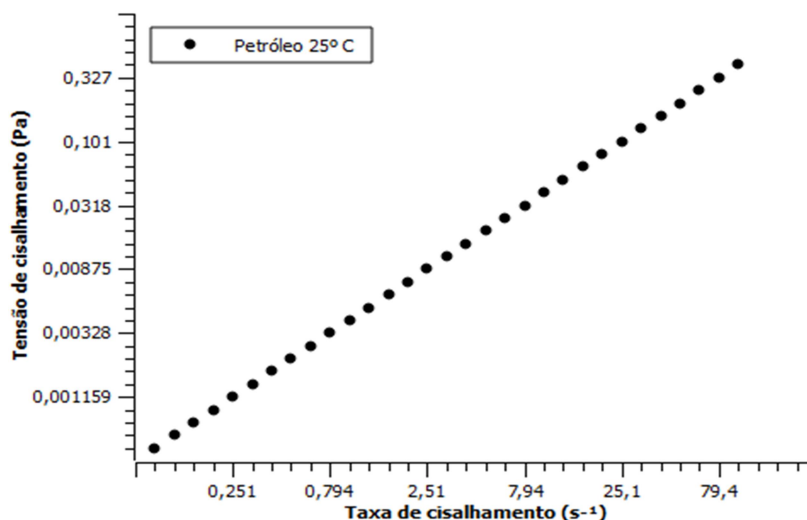


Figura 1 – Curva de fluxo do óleo a 25°C

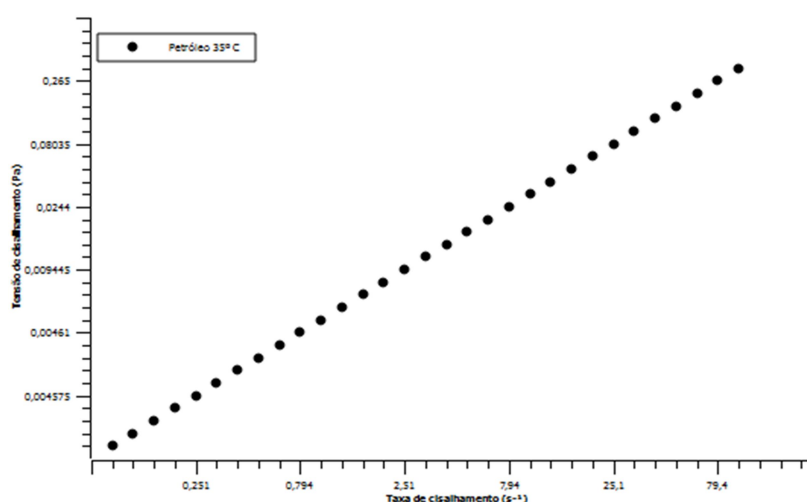


Figura 2 – Curva de fluxo do óleo a 35°C

As análises gráficas permitiram classificar o fluido como não-newtoniano, independente do tempo, do tipo Plástico de Bingham. Esse comportamento é comprovado pela relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, a partir do momento em que se atinge uma tensão cisalhante inicial. Com aumento da tensão de deformação, a curva de viscosidade é constante. Sendo assim, os gráficos são representados por uma reta.

O fluido analisado apresenta comportamento viscoplástico, o que significa dizer que ele possui uma tensão limite de escoamento. Para valores muito acima desta tensão, o fluido escoar e apresenta predominância dos efeitos viscosos, enquanto que em valores abaixo, o fluido não escoar, se comporta como sólido e apresenta predominância dos efeitos elásticos. Na região próxima a tensão limite, o fluido apresenta deformações elásticas e viscosas. Além disso, eles podem apresentar comportamento tixotrópico [5].

Conclusões

O estudo constatou a importância da tecnologia de medição fiscal dos volumes de petróleo e a relevância da correta medição da produção. O medidor de vazão ultrassônico analisado neste estudo

apresentou medidas coerentes para os pontos especificados, o que viabiliza a sua utilização para monitoramento do escoamento, assim como controle dos fluidos produzidos.

Tão importante quanto quantificar o volume produzido é caracterizar o fluido, assim, agregou-se a esta análise a caracterização reológica do fluido de trabalho, este, apresentou-se como não-Newtoniano, do tipo Plástico de Bingham, comportamento característico de óleo com elevado °API.

Agradecimentos

LCPP (UFS), CENPES/ NEAT, NUESC (UNIT)

Referências Bibliográficas

- [1] STEEFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering. 2nd edition. East Lansing - Freeman Press. 1996. 412p.
- [2] AMUI, S.. Reologia. Divisão de Ensino – DIVEN PETROBRAS. 1979.
- [3] COSTA, C. M.Ç.; NACCACHE, M. F.; VARGES, Priscilla.; Caracterização Reológica de Fluidos Complexos; 2017.
- [4] FOX, R. W.; McDONALD, A. T. Introdução à Mecânica dos Fluidos. Livros Técnicos e Científicos Editora S.A.. Rio de Janeiro. 1998.
- [5] SANTOS, W. J.; ORLANDO, A. F.; C.; BARBOSA, C. R. H.; Análise da influência da viscosidade na medição de vazão de petróleo por medidores ultrassônicos; Dissertação de Mestrado; Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro; 2016.
- [6] MACHADO, J. C. V. Reologia e Escoamento de Fluidos – Ênfase na Indústria de Petróleo. Editora Interciência. Rio de Janeiro. 2002.
- [7] DELMÉE, G. J., Manual de Medição de Vazão, 3ª ed., Edgard Blucher. 2003.
- [8] SANTOS, V. C. M.; AHÓN, V. R. R.; A Medição Fiscal dos Volumes de Petróleo – Medidores Ultrassônicos; Universidade Federal Fluminense; Niterói-RJ; 2011.
- [9] AGÊNCIA NACIONAL DE PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCOMBUSTÍVEIS. Disponível em: < <http://www.anp.gov.br/>>. Acesso em: 10 de setembro de 2019.
- [10] RESOLUÇÃO CONJUNTA ANP/INMETRO Nº.1; Aprovação do Regulamento Técnico de Medição de Petróleo e Gás Natural; 10 de junho de 2013.